Analiza značajki prometnog toka prilikom prijenosa videosadržaja strujanjem

Horvatin, Igor

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:310827

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-16**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Igor Horvatin

ANALIZA ZNAČAJKI PROMETNOG TOKA PRILIKOM PRIJENOSA VIDEOSADRŽAJA STRUJANJEM

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

DIPLOMSKI RAD

ANALIZA ZNAČAJKI PROMETNOG TOKA PRILIKOM PRIJENOSA VIDEOSADRŽAJA STRUJANJEM

ANALYSIS OF TRAFFIC FLOW CHARACTERISTICS DURING VIDEO STREAMING

Mentor: dr. sc. Marko Matulin
Student: Igor Horvatin, 0135201538

Zagreb, rujan 2017.

Sažetak

Današnje višeuslužne mreže pružaju korisnicima različite vrste komunikacijskih usluga putem iste prijenosne infrastrukture (fiksne ili mobilne mreže) neovisno o prijenosnom mediju. Novija istraživanja pokazuju kako je usluga prijenosa videosadržaja strujanjem jedna od najčešće korištenih usluga. Sve je više videoportala koji objavljuju različite videosadržaje koji se često mogu gledati bez ikakve naknade. Stoga uslijed popularnosti ove usluge i njenih specifičnih zahtjeva po pitanju mrežnih preformansi, u ovom radu napravljena je analiza prometnog toka pomoću programskog alata *Wireshark* na temelju pristiglih paketa za vrijeme gledanja videosadržaja (uživo ili na zahtjev). Analiza služi kako bi se opisala distribucija duljine paketa koji pristižu s poslužitelja na uređaj klijenta s obzirom na vrstu sadržaja i različitih kvaliteta videosadržaja. Također se analizirao broj generiranih paketa te na taj način dodatno opisao prometni tok prilikom prijenosa videosadržaja niže i više kvalitete.

Ključne riječi: širokopojasne mreže, videosadržaj, prometni tok, *Wireshark*

Summary

Today's multiservice networks provide users with different types of communication services through the same transport infrastructure (fixed or mobile) regardless of the media. Newer research shows that video streaming service is one of the most commonly used services. A lot of video portals publish various video content that can often be viewed without any compensation. Therefore, due to the popularity of this service and its specific requirements regarding network performance, in this paper, an analisys of trafic flow has been made using software tool Wireshark on the basis of the received packets while watching the video (live or on demand). The analysis is used to describe the distribution of packet lengths that arrive from server to client based on the content type and different video content quality. The number of generated packets was also analyzed, and in that way additionally described the traffic flow in lower and higher quality video streams.

Key words: broadband networks, video content, traffic flow, Wireshark

Sadržaj:

1. Uvod 1
2. Podjela i značajke višeuslužnih mreža 3
2.1. Fiksna telekomunikacijska mreža 5
2.2. Mobilna telekomunikacijska mreža 6
2.3. Usporedba telekomunikacijskih modela 10
2.4. IP protokol 11
3. Usluga strujanja videosadržaja 13
4. Alati i sadržaji korišteni u analizi prometnog toka 16
4.1. Alat *Wireshark* 16
4.1.1. Grafičko sučelje 17
4.1.2. Izbornik 18
4.1.3. Glavna alatna traka 19
4.1.4. Alatna traka za filtriranje 20
4.2. Korišteni portali i sadržaji za analizu prometnog toka 21
5. Analiza prijenosa videosadržaja ovisno o korištenim protokolima 25
5.1. IP adresa računala 25
5.2. IP adresa videosadržaja 26
5.3. Praćenje toka 27
5.4. Analiza prikupljenih podataka 28
5.4.1. Analiza prometa videosadržaja aplikacije YouTube 29
5.4.2. Analiza prometa videosadržaja aplikacije Facebook 32
5.4.3. Analiza prometa videosadržaja aplikacije Skype 35
5.4.4. Analiza prometa videosadržaja portala Live sport streams 38
5.4.5. Komparativna analiza 39
6. Distribucija veličine paketa prilikom prijenosa videosadržaja 41
6.1. Distribucija veličine paketa videosadržaja aplikacije *YouTube* 41
6.2. Distribucija veličine paketa videosadržaja aplikacije *Facebook* 43
6.3. Distribucija veličine paketa videosadržaja aplikacije *Skype* 45
6.4. Distribucija veličine paketa videosadržaja portala *Live Sport Streams* 47
6.5. Komparativna analiza 49
7. Zaključak 51
Literatura 52
Popis slika 54

Popis grafova.....56
Popis kratica.....57

1. Uvod

Širokopojasne telekomunikacijske mreže razvijaju se u pravcu višeuslužnih mreža u kojima su integrirane raznovrsne usluge kao prijenos govora, podatkovnih aplikacija, pokretne i nepokretne slike te multimedijske usluge. Prijenos velikih količina podatka u jedinici vremena omogućuju nove tehnologije.

Glavni uzrok velikog rasta prijenosnog kapaciteta je usluga prijenosa videosadržaja kao jedna od popularnijih i najčešće korištenih usluga koja generira promet. Prijenos videosadržaja, bilo to uživo ili na zahtjev, podrazumijeva njegovo izravno prikazivanje, iz čega slijedi da niz mrežnih parametara može utjecati na kvalitetu njegovog prikaza. U interesu je analizirati karakteristike prometnog toka prilikom prijenosa različitih videosadržaja, jer se time prikupljaju podaci koji se mogu koristiti za upravljanje mrežom i njenim kapacitetom. Cilj diplomskog rada jest iz analize prometnih tokova prilikom prijenosa opisati distribucije duljine paketa te analizirati broj generiranih paketa i prikazati koji protokoli su korišteni pri prijenosu pojedinog videosadržaja. Programski alat je korišten za analizu karakteristika prometnog toka je *Wireshark*.

Naslov diplomskog rada je Analiza značajki prometnog toka prilikom prijenosa videosadržaja strujanjem. Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Podjela i značajke višeuslužnih mreža
3. Usluga strujanja videosadržaja
4. Alati i sadržaji korišteni u analizi prometnog toka
5. Analiza prijenosa videosadržaja ovisno o korištenim protokolima
6. Distribucija veličine paketa prilikom prijenosa videosadržaja
7. Zaključak.

U drugom poglavlju opisana je podjela telekomunikacijskih mreža te dosadašnji razvoj mobilnih i fiksnih mreža. Također je ukratko opisana razlika između telekomunikacijskog modela OSI (engl. *Open Systems Interconnection*) i TCP/IP (engl. *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) složaja, kao i sama svrha IP protokola.

Treće poglavlje obuhvaća definiciju usluge prijenosa videosadržaja te razliku između prijenosa uživo i prijenosa na zahtjev kao i opis korištenih protokola kod pojedine usluge.

Četvrto poglavlje obuhvaća opis funkcija korištenih alata prikazanih u tablicama i sadržaja kao što su *YouTube, Facebook, Messenger, Skype, Popcorn* i *Live Sport Streams*.

U petom poglavlju napravljena je analiza prometnog toka između pošiljatelja i primatelja korištenjem programskog alata *Wireshark*. Opisane su IP adrese računala i videosadržaja, kao i praćeni TCP (engl. *Transmission Control Protocol*), UDP (engl. *User Datagram Protocol*) i QUIC (engl. *Quick UDP Internet Connections*) tok. Analizirani su prikupljeni podaci za vrijeme prijenosa videosadržaja putem aplikacija *YouTube, Facebook, Skype* i *Live Sport Streams* te je napravljena komparativna analiza između njih.

U šestom poglavlju analizira se distribucija veličine paketa na temelju pregledanih videosadržaja i prikupljenih podataka koji su prikazani u petom poglavlju. Isto tako su osim analize opisana opažanja i napravljena je komparativna analiza svih korištenih videosadržaja.

Zadnje poglavlje je zaključak u kojem je ukratko opisana analiza videosadržaja i njihovih prikupljenih podataka te rezultati istih.

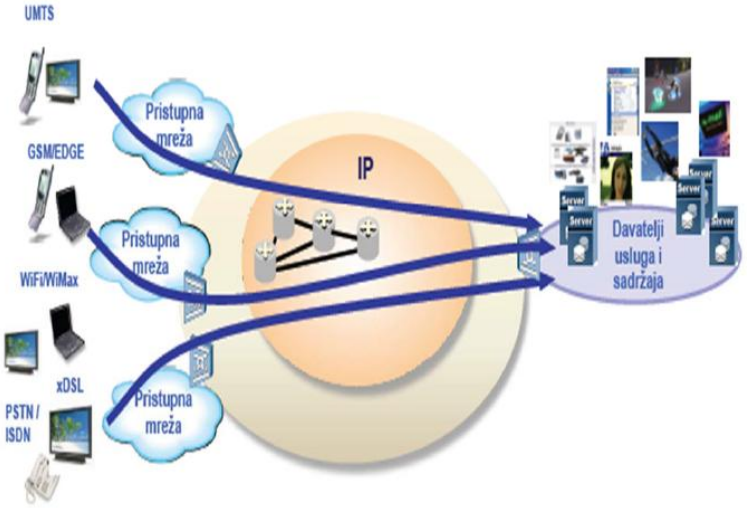
2. Podjela i značajke višeuslužnih mreža

Višeuslužna mreža (engl. *Multi Service Network* - MSN) je mreža koja je dizajnirana tako da prenosi promet više od jedne vrste aplikacije, dok se u klasičnim mrežama ili mrežama predviđenim samo za jednu vrstu usluge, kao što je telefonska mreža koja može, općenito govoreći, prenositi samo jednu aplikaciju. Iako se internetski promet može prenositi telefonskim sustavima, ti sustavi se ne smatraju višeuslužnom mrežom jer nisu dizajnirani s tim ciljem.

Razvoj nove generacije širokopojasnih telekomunikacijskih mreža odvija se u pravcu višeuslužnih mreža u kojima su integrirane raznovrsne usluge kao prijenos govora, podatkovnih aplikacija, pokretne slike, nepokretne slike i multimedijske usluge. Za razvoj višeuslužnih mreža ključni preduvjeti je osiguranje različitih razina kvalitete usluga (engl. *Quality of Service* - QoS), uz optimalno iskorištenje resursa mreže i stvaranje uvjeta za siguran rad mreže kroz implementaciju odgovarajućih mehanizama upravljanja, kontrole i zaštite. Fiksne i mobilne mreže imale su posve različite razvojne putove i razvijale su se u posve različitim periodima. Posljedice toga sežu od najnižih razina mrežne arhitekture, preko ponude usluga do marketinga i korisničkih navika.

Kod arhitekture „tradicionalnih“ mreža svaka ima svoje resurse (npr. fiksna - telefonska, pokretna, kabelska televizija, internet) s različitim načinima prijenosa (paket, kanal) i pretvorbama između mreža, dok se „nove“ mreže zasnivaju na visokoj razini zajedničkih resursa, prijenosnih, kontrolnih i uslužnih, a prevladava paketski način prijenosa (slika 1).[1]

[1] Mrvelj, Š.: Predavanja iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa II Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.



Slika 1.Simbolični prikaz mreže i njenih funkcionalnosti[2]

Telekomunikacijska mreža može se razvrstati po području po kojem se rasprostire. Mreža koja se rasprostire na području, primjerice jedne zgrade i time omogućuje jednostavnu komunikaciju i razmjenu podataka između korisnika te uštedu zbog mogućnosti dijeljenja ostalih resursa (printera, fakseva i dr.) je lokalna mreža (engl. *Local Area Network* - LAN) u kojoj računala mogu biti povezana mrežnim kabelima i preklopnikom (engl. *switch*) ili bežično (engl. *Wireless LAN*). Više međusobno povezanih lokalnih mreža na prostorno velikom području čini širokopojasnu rasprostranjenu mrežu (engl. *Wide Area Network* - WAN). Mreža u kojoj su računala smještena na većim udaljenostima je gradska mreža (engl. *Metropolian Area Network* - MAN), a najčešće pokriva područje jednog dijela ili cijelog grada. Može biti u vlasništvu neke organizacije ili više njih.[3]

Mreže s komutacijom kanala (engl. *circuit switched network*) i mreže s komutacijom paketa (engl. *packet switched network*) se razlikuju.[4] Kod komutiranog kanala za čitavo vrijeme trajanja razgovora uspostavlja se fizička kanalska konekcija (put) od kraja do kraja uz „ekskluzivno“ korištenje kapaciteta kanala. Kod komutacija paketa ne uspostavlja se fizička konekcija od kraja do kraja, nego dijelovi korisničke poruke u sklopu adresiranih paketa

[2] Mrvelj, Š.: Predavanja iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa II Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.
[3] Kavran, Z.: Predavanja iz kolegija: Računalne mreže, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.
[4] Lovrek, I.:Predavanja iz kolegija: Telekomunikacijska tehnologija i specifičnosti telekomunikacijskog tržišta, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2013.

putuju od čvora do čvora „u skokovima“. U svakom čvoru paketi se memoriraju, obrađuju (provjera pogreške, rutiranje i dr.) te usmjeravaju dalje prema odredištu.[5]

2.1. Fiksna telekomunikacijska mreža

Nove tehnologije omogućuju prijenos velikih količina podatka u jedinici vremena. Ubrzani razvoj mreža i tehnologija doveo je do razvoja širokopojasnih pristupnih tehnologija digitalnih pretplatničkih linija (engl. *Digital Subscriber Line* - DSL). U DSL tehnologijama prijenos podataka omogućen je korištenjem postojeće bakrene parice za pružanje klasične telefonske usluge. DSL tehnologije se dijele na simetrične i asimetrične digitalne tehnologije. Simetrične DSL tehnologije su digitalna pretplatnička linija velikih brzina prijenosa (engl. *High-bit-rate Digital Subscriber Line* - HDSL) i SHDSL (engl. *Symmetrical High-speed Digital Subscriber Line*) koje zbog svojih tehnoloških ograničenja (brzina prijenosa i negativni efekti na susjedne parice), time ne omogućavaju pružanje naprednih interaktivnih usluga, kao što je npr. IP (engl. *Internet Protocol*) televizija, video na zahtjev (engl. *Video on Demand* - VoD) ili prijenos videa strujanjem (engl. *video streaming)*. Asimetrične DSL tehnologije koriste slobodni frekvencijski pojas iznad 4 kHz. Prijenos podataka po istoj bakrenoj parici koja se koristi za analognu govornu uslugu omogućen je primjenom određenih modulacijskih tehnika. Postoji više načina izvedbe širokopojasnih pristupnih mreža, jedan od načina je bakrenom paricom, a drugi način je svjetlovodnim kabelom.[6]

Tablica 1 prikazuje usporedbu najpoznatijih DSL tehnologija na temelju koje se može zaključiti da je najbolji izbor upravo ADSL (engl. *Asymmetric Digital Subscriber Line*), posebno u gradovima i prigradskim područjima s postavljenom paričnom infrastrukturom. ADSL je potpuno standardiziran, prijenosna brzina u oba smjera je zadovoljavajuća, podržava korištenje regeneratora, podržava istovremeni prijenos POTS (engl. *Plain Old Telephone Service*) i ADSL podataka preko zajedničke upredene parice.[7]

[5] Mrvelj, Š.: Predavanja iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa I Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010.
[6] Bažant, A., Gledec, G., Ilić, Ž., Ježić, G., Kos, M., Konštić, M., Lovrek, I., Matijašević, M., Mikac B., Sinković, V.: Osnovne arhitekture mreža, Element, Zagreb, 2004.
[7] Bažant, A., Gledec, G., Ilić, Ž., Ježić, G., Kos, M., Konštić, M., Lovrek, I., Matijašević, M., Mikac B., Sinković, V.: Osnovne arhitekture mreža, Element, Zagreb, 2004.

Tablica 1. Usporedba brzina različitih pristupnih tehnologija[8]

Naziv usluge	Dolazna brzina	Odlazna brzina	Maksimalni domet
ISDN	128 kbit/s	128 kbit/s	5486 m
IDSL	144 kbit/s	144 kbit/s	5486 m
HDSL	2,320 Mbit/s	2,320 Mbit/s	3658 m
HDSL2	1,544 Mbit/s	1,544 Mbit/s	3658 m
SDSL	2,320 Mbit/s	2,320 Mbit/s	5468 m
SHDSL	2,320 Mbit/s	2,320 Mbit/s	5468 m
ADSL	8 Mbit/s	640 kbit/s	5468 m
G.Lite	1,5 Mbit/s	512 kbit/s	5468 m
VDSL	56 Mbit/s	13 Mbit/s	1372 m

Prva generacija ADSL standarda imala je fiksan broj bitova po okviru, a brzinu prijenosa podataka do 32 kbit/s, dok se u ADSL2 standardu bitovi mogu programirati od 4 kbit/s do 32 kbit/s. U ADSL2 sustavima brzina prijenosa sinkronizacijskih podataka može biti smanjena na 4 kbit/s pa time omogućava dodatnih 28 kbit/s za korisničke podatke. Povećanjem brzine prijenosa podataka do 50 kbit/s na dužim telefonskim linijama rezultira porastom dometa za oko 200 m.

Početkom 2003. godine ADSL2+ dobio je odobrenje kao član ADSL2 standarda. ADSL2+ omogućuje veće brzine prijenosa podataka od korisnika i prema korisniku. ADSL2+ preporuka udvostručuje „*downstream*“ brzinu prijenosa podataka prema korisniku na telefonskim linijama kraćim od 2700 m, a isto tako omogućuje izborni način što je također udvostručilo „*upstream*“ brzinu prijenosa podataka na udaljenosti od centrale kraćoj od 2700 m.[9]

2.2. Mobilna telekomunikacijska mreža

Mobilna telefonska mreža omogućuje govornu komunikaciju između dva pokretna korisnika, ili jednog pokretnog i jednog nepokretnog. Ova mreža je jedna od najmlađih telekomunikacijskih mreža, ali se vrlo naglo razvija. Prvenstveno je služila za prijenos govora

[8] Bažant, A., Gledec, G., Ilić, Ž., Ježić, G., Kos, M., Konštić, M., Lovrek, I., Matijašević, M., Mikac B., Sinković, V.: Osnovne arhitekture mreža, Element, Zagreb, 2004.
[9] Mrvelj, Š.: Predavanja iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa I Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010.

(frekvencijsko područje 300-3400 Hz), no danas se podjednako koristi i za prijenos govora i za prijenos podataka.[10]

Pokretna mreža je javna mreža u kojoj se pristup zasniva na radijskoj komunikaciji koja omogućuje pokretljivost korisničke opreme – terminala na području pokrivanja radijskim signalom, odnosno omogućeno je uspostavljanje veza i u uvjetima fizičkog kretanja korisnika usluga te mreže.[11]

Slika 2. Razvoj pokretne mreže[12]

Pokretne telekomunikacijske mreže razvijale su se u više generacija odnosno skupina sustava sa zajedničkim ili sličnim karakteristikama. Na slici 2 vidljiv je razvoj mobilnih mreža kroz četiri generacije (1G, 2G, 3G i 4G). Druga i treća generacija imau dvije podgeneracije (2,5G i 3,5G). Prvu generaciju obilježavaju analogni sustavi, dok se od druge generacije rabe digitalni sustavi.[13]

Zbog sve veće potrebe za korištenjem širokopojasnog pristupa u pokretnim mrežama na telekomunikacijskom tržištu dolazi do ubrzanog trenda povećanjem broja pametnih telefona, povezanih osobnih računala i tablet računala te podržan uvođenjem boljih performansi mreže. Korisnici sve više koriste aplikacije i pristup Internetu u pokretu zbog

[10] Bošnjak, I.: Telekomunikacijski promet I, FPZ, Zagreb, 2001.
[11] Bažant, A., Gledec, G., Ilić, Ž., Ježić, G., Kos, M., Konštić, M., Lovrek, I., Matijašević, M., Mikac B., Sinković, V.: Osnovne arhitekture mreža, Element, Zagreb, 2004.
[12] http://2.bp.blogspot.com/-PUIQ_cgQQzc/UDb-hqawZiI/AAAAAAAAB9c/MftbAa-m7Bk/s1600/Cellular-Generations-1G-2G-3G-4G-001.jpg) (kolovoz 2014.)
[13] Bažant, A., Gledec, G., Ilić, Ž., Ježić, G., Kos, M., Konštić, M., Lovrek, I., Matijašević, M., Mikac B., Sinković, V.: Osnovne arhitekture mreža, Element, Zagreb, 2004.

čega podatkovni promet u pokretnim mrežama nastavlja i dalje snažno rasti.[14] Glavni uzrok velikog rasta je video kao dominantni tip usluge koja generira promet.

Prva generacija mobilnih telekomunikacija omogućavala je korištenje višestrukih ćelija i mogućnosti prijenosa poziva iz jedne ćelije u drugu. Prva komercijalna automatizirana mreža ćelija ostvaruje kompanija NTT (engl. *Nippon Telegraph and Telephone Corporation*) u Japanu 1979. godine, dok je u Europi NMT (engl. *Nordic Mobile Telephony*) bio vrlo važan što se tiče prve generacije.

Prelazak s analognih sustava na digitalne sustave događa se u 2G mreži. U digitalnim sustavima temelj je bilo to što se koristio višestruki pristup na vremenskoj dodjeli (engl. *Time Division Multiple Access* - TDMA). Nekoliko korisnika moglo je koristiti isti frekvencijski kanal podjelom u vremenske odsječke (engl. *time slots*). Uz TDMA koristila se i CDMA (engl. *Code Division Multiple Access*) metoda pristupa kanalima koju su koristile različite tehnologije za komunikaciju preko radio signala.[15]

Podgeneracija 2.5G donijela je HSCSD (engl. *High Speed Circuit Switched Data*), GPRS (engl. *General Packet Radio Service*) i EDGE (engl. *Enhanced Data Rates for Global Evolution*) tehnologije. HSCSD omogućio je 4 do 6 puta brži prijenos podataka komutacijom kanala nego što je to omogućavao GSM (engl. *Global System for Mobile Communications*) brzinom do 57,6 kbit/s jer je bila omogućena istodobna uporaba četiri kanala. Prijenos podataka bežičnim putem kroz GSM mrežu omogućavao je GPRS protokol. Teoretska maksimalna brzina prijenosa podataka GPRS mrežom iznosila je 171,2 kbit/s. Frekvencijski opseg GSM-a u EDGE tehnologiji bio je 900MHz, 1800MHz i 1900 MHz za pružanje multimedijalnih usluga do brzine od 384 kbit/s kada se koriste svih osam kanala (maksimalna brzina po vremenskom kanalu 48 kbit/s).[16]

U 3G mrežu spada UMTS (engl. *Universal Mobile Telecommunications System*) sustav koji koristi širokopojasni sustav u kodnoj podjeli (engl. *Wideband Code Division Multiple Access* - WCDMA) i koji je bio namijenjen za otvoreni prostor, široko područje pokrivanja i javnu mrežu. Omogućavao je osobnu pokretljivost uz integrirani prijenos govora,

[14] Popović, Ž.: *Četvrta generacija IP mreža*, Ericsson Nikola Tesla, Zagreb, revija br.1, 2011.
[15] Popović, Ž.: *Četvrta generacija IP mreža*, Ericsson Nikola Tesla, Zagreb, revija br.1, 2011.
[16] Kavran, Z.: Predavanja iz kolegija: Planiranje telekomunikacijskih mreža, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

podataka i multimedijskih sadržaja s većim brzinama prijenosa. Brzine u svim uvjetima na otvorenom prostoru bile su od 144 kbit/s do 384 kbit/s i do 2 Mbit/s u zatvorenom prostoru.[17]

Podgeneraciju 3.5G označio je brzi paketski pristup odnosno HSPA (engl. *High Speed Packet Access*). Definirao je povećanje brzine prijenosa u uzlaznom i silaznom smjeru (*uplink* i *downlink*), ali posebno u silaznom smjeru HSDPA (engl. *High Speed Downlink Packet Access*) i bržeg uzlaznog smjera HSUPA (engl. *High Speed Uplink Packet Access*). HSDPA tehnologija podržava brzine prijenosa 1,8, 3,6, 7,2 i 14 Mbit/s. Veće brzine prijenosa od 42 Mbit/s i 84 Mbit/s omogućava HSPA+ (engl. *Evolved High Speed Packet Access*). HSPA+ poboljšava radijske performanse tehnologije HSPA, omogućava širokopojasni pristup Internetu u pokretu, optimizacijske postupke za dodatno smanjenje kašnjenja u prijenosu podataka te povećanje kapaciteta, potpuno iskorištenje mogućnosti višestrukog pristupa WDCMA i paketski prijenos govora i podataka, brzinom podataka do 42 Mbit/s.[18]

4G mreža je usmjerena na znatan porast mobilnog širokopojasnog pristupa, video promet, usluge u oblaku i mogućnosti priključenja velike količine raznovrsnih uređaja. Bitno drugačiji pristup arhitekturi IP mreže zahtijeva LTE (engl. *Long Term Evolution*) mreža. Mreže četvrte generacije predstavljaju lako i brzo prilagođavanje novim modelima korištenja i zahtjevima korisnika na performanse mreže.[19]

4G tehnologije razlikuju se od 3G tehnologija jer prije uspostave komunikacije među korisnicima uklanjanjaju uspostave kanala između čvorova i terminala. Umjesto toga koristi se IP mreža.

Nova generacija pokretnih mreža omogućuje:

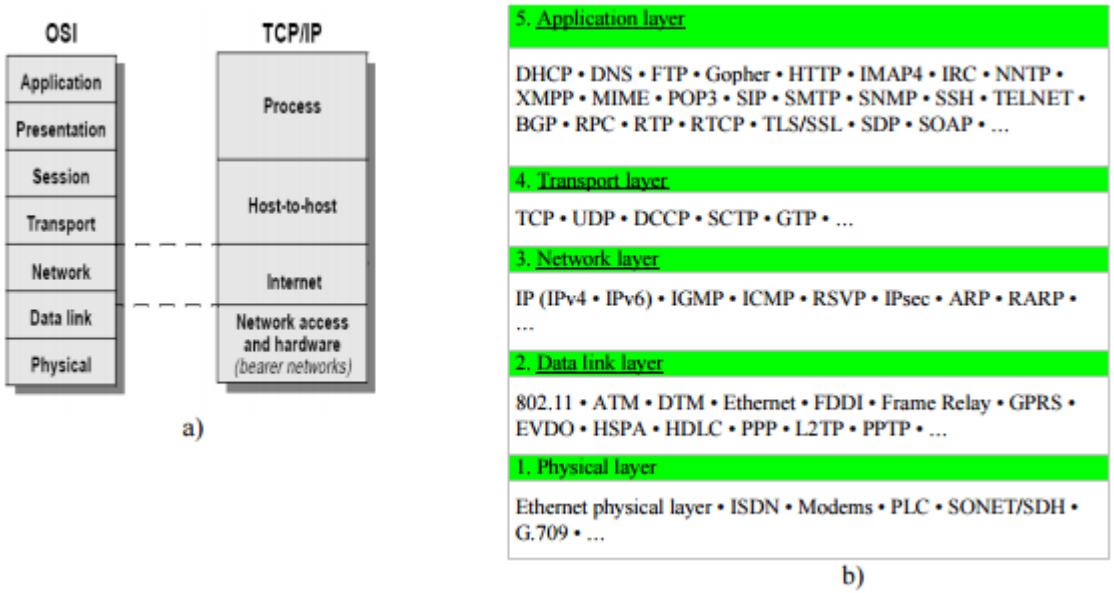
- višu razinu kapaciteta i performansi mreže,
- brzinu prijenosa podataka do 326 Mbit/s („*downlink"*), 86 Mbit/s („*uplink"*),
- više usluga, niže cijene, pojednostavljenje arhitekture, otvorena sučelja,
- fleksibilnije korištenje postojećeg frekvencijskog pojasa (5 - 20 MHz).[20]

[17] Kavran, Z.: Predavanja iz kolegija: *Planiranje telekomunikacijskih mreža*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.
[18] Popović, Ž.: *Četvrta generacija IP mreža*, Ericsson Nikola Tesla, Zagreb, revija br.1, 2011.
[19] Popović, Ž.: *Četvrta generacija IP mreža*, Ericsson Nikola Tesla, Zagreb, revija br.1, 2011.
[20] Ježića, G.: Predavanja iz kolegija *Tržište pokretnih telekomunikacija*, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2011.

2.3. Usporedba telekomunikacijskih modela

1977. godine ISO (engl. *International Organization for Standardization*) organizacija pokrenula je razvoj referentnog modela za povezivanje otvorenih sustava kojeg su nazvali OSI (engl. *Open Systems Interconnection*) model. S obzirom da je OSI model bio teorijski, razvijena je i svojevrsna dopuna odnosno skup protokola TCP/IP koji je podržan širokom primjenom.[21]

Komparacija OSI/RM i TCP/IP prikazana je slikom 3a), a pripadajući protokoli pojedinog sloja za pet-slojni TCP/IP protokolarni složaj prikazani su slikom 3b).



Slika 3. Komparacija OSI modela i TCP/IP složaj[22]

TCP/IP su prvi razvijeni komunikacijski protokoli koji su kasnije razdvojeni u dva odvojena entiteta: IP (engl. *Internet Protocol*) protokol, koji je zaslužan za adresiranje i prosljeđivanje paketa, te TCP protokol, čija je uloga posluživanje paketa najbolje što se može u danom trenutku, kontrola toka i pouzdana isporuka paketa. UDP je drugi protokol prijenosa koji je dodan da bi osigurao izravan pristup za IP usluge bez pouzdanosti koju osigurava TCP.[23]

[21] Bošnjak, I.: Tehnologija telekomunikacijskog prometa II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2000.
[22] Mrvelj, Š.: Predavanja iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa I Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009.
[23] Mrvelj, Š.: Predavanja iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa I Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009.

OSI referentni model opisuje arhitekturu mreže kako bi mrežna oprema različitih proizvođača mogla komunicirati. Referentni model predstavlja sve procese potrebne za uspješnu komunikaciju i dijeli sve procese u slojeve. On opisuje kako jedna aplikacija na jednom računalu šalje podatke i mrežne informacije aplikaciji na drugom računalu. Slojevi unutar jednog modela komuniciraju samo s prvim slojem iznad i prvim slojem ispod sebe.[24] Najveća razlika između dva modela je broj slojeva te njihovi nazivi (slika 3). OSI model ima sedam slojeva, a TCP/IP složaj ima četiri sloja.[25]

2.4. IP protokol

Internet protokol (engl. *Internet protocol* – IP) određuje oblik paketa i shemu adresiranja za komuniciranje preko mreže. Većina mreža kombinira IP s TCP protokolom, koji uspostavlja virtualnu vezu između odredišta i izvora. IP se zapravo može usporediti s nečim poput poštanskog sustava. Omogućuje da se paket adresira i pušta u sustav, ali nema izravne veze između pružatelja i primatelja. TCP/IP, s druge strane, uspostavlja vezu između dva računala tako da oni mogu slati poruke natrag i naprijed za određeno vrijeme. Postoje dvije verzije Internet protokola:

1) IPv4 (engl. *Internet Protocol version 4* – IPv4),
2) IPv6 (engl. *Internet Protocol version 6* – IPv6).

IPv4 je četvrta revizija Internet protokola koja se koristi za prepoznavanje uređaja na mreži putem sustava adresiranja. Namjena Internetskog protokola jest korištenje u međusobno povezanim sustavima komunikacijskih mreža s paketnim komutiranjem. IPv4 je najčešće korišteni Internetski protokol koji se koristi za spajanje uređaja na Internet. Koristi 32-bitnu adresnu shemu koja omogućuje ukupno 2^{32} adresa (više od 4 milijarde adresa). S rastom Interneta očekuje se smanjivanje broja neiskorištenih IPv4 adresa jer svaki uređaj - uključujući računala, pametne telefone i igraće konzole - koji se spaja na Internet zahtijeva adresu.

IPv6 je evolucijska nadogradnja na IPv4. Drugi naziv za IPv6 jest Internet protokol sljedeće generacije (engl. *Internet Protocol next generation* – IPng) i to je najnovija verzija IP-a za zamjenu trenutne verzije IPv4. IPv6 je zapravo nasljednik IPv4. Dizajniran je kao evolucijska nadogradnja na internetski protokol, a istodobno koegzistira sa starijim IPv4-om.

[24] http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje_3.pdf
[25] https://networklessons.com/cisco/ccna-routing-switching-icnd1-100-105/tcpip-stack-tutorial/

IPv6 je osmišljen kako bi se omogućio stalni rast Interneta, kako u pogledu broja priključenih računala tako i u ukupne količine prenesenog podatkovnog prometa. Najčešće se spominje IPv6 u smislu povećanja baze adresa, no postoje druge važne tehnološke promjene u IPv6 koji poboljšava IP protokol:

1) Ukidanje mrežnog adresnog prijevoda (engl. *Network Address Translation* - NAT) - metoda za remapiranje jedne IP adrese u drugu izmjenom informacija o mrežnoj adresi u zaglavljima paketa datagrama IP-a dok su u tranzitu preko uređaja za usmjeravanje prometa,
2) Auto-konfiguracija,
3) Nema više sudara privatnih adresa,
4) Bolje višestruko usmjeravanje,
5) Jednostavniji oblik zaglavlja,
6) Pojednostavljeno, učinkovitije usmjeravanje,
7) Ugrađena autentifikacija i podrška za privatnost,
8) Fleksibilne opcije i proširenja,
9) Jednostavnija administracija,
10) QoS - opis ili mjerenje ukupne izvedbe usluge odnosno kvalitete usluge kao što su stope pogrešaka, brzina prijenosa, propusnost, kašnjenje prijenosa, dostupnost, podrhtavanje itd.[26]

[26] Rodriguez, A., Gatrell, J., Karas, J., Peschke, R.: *TCP/IP Tutorial and Technical Overview*, IBM *Corporation*, *International Technical Support Organization*, New York, 2001.

3. Usluga strujanja videosadržaja

Postoje razne vrste video aplikacija koje se razlikuju po simetriji/asimetriji u prijenosu, zahtijevanoj širini prijenosnog pojasa i otpornosti na kašnjenje i varijacije kašnjenja, a dijele se na:

- ✓ video na zahtjev (engl. *Video on Demand* - VoD),
- ✓ videotelefonija i videokonferencija,
- ✓ prijenos videa strujanjem (engl. *video streaming*).[27]

Usluga prijenosa videosadržaja strujanjem dijeli se na dva osnovna tipa:

1) strujanje videosadržaja uživo i
2) strujanje videosadržaja na zahtjev.

Kada je riječ o prijenosu uživo tad se prenose neki sportski događaji, koncerti, skupovi i sl., dok je kod prijenosa videosadržaja na zahtjev sadržaj je već pohranjen na *streaming* poslužitelju i njime se može upravljati tokom sesije (pauzirati, preskakati unaprijed ili unazad). Osnovna razlika između usluge strujanja videosadržaja od usluge video na zahtjev je u tome što za vrijeme *streaming* sesije, korisnik sadržaj gleda prije nego li ga u potpunosti preuzme, a kod VoD usluge sadržaj se u cjelosti mora pohraniti na korisničkoj strani kako bi se omogućila reprodukcija. Za *streaming* audio/video zapisa potrebna je digitalizacija zvuka i slike. Digitalizacija je proces pretvaranja analognog signala u digitalni.

RTSP (engl. *Real Time Streaming Protocol*) je najčešće upotrebljavani kontrolni protokol aplikacijskog sloja posebno dizajniran za stvarnovremenske prijenose video i audio sadržaja za uslugu prijenosa videosadržaja strujanjem.[28] Često se opisuje kao „daljinski upravljač'' jer korisnicima omogućuje upravljanje reproduciranim sadržajem (pauziranje, preskakanje unaprijed ili unazad). UDP je najčešće rabljeni beskonekcijski protokol na transportnom sloju, jer se radi o specifičnom načinu isporuke sadržaja (ne jamči isporuku paketa). Ukoliko paket nije na vrijeme stigao na odredište, vrlo je vjerojatno da je trenutak njegovog prikaza prošao, stoga kao i prilikom prijenosa govora IP mrežom, nije potrebno ponovno slanje izgubljenih ili zakašnjelih paketa.[29] HTTP (engl. *HyperText Transfer*

[27]Kartvelishvili, M., Kartvelishvili, O.: *QoS and Packet Queueing Strategies in Multiservice Heterogenous TCP/IP Networks*, *Publishing House* '09, Technical University, Tibilisi, 2009.
[28]Schulzrinne, H.: *Real Time Streaming Protocol*, RFC 2326 1998.
[29]Matulin, M.: Procjena iskustvene kvalitete usluge prijenosa videosadržaja strujanjem, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2014.

Protocol) je protokol koji služi za komunikaciju klijenta i poslužitelja, a omogućuje prijenos dokumenata u obliku hiperteksta koji su sebi sadrži linkove može prelaziti na druge stranice klikom na označene riječi.[30] QUIC protokol pruža pouzdani prijenos sadržaja preko UDP-a. Protokol ulazi u prostor aplikacije za razliku od TCP-a koji se obrađuje u jezgri.[31]

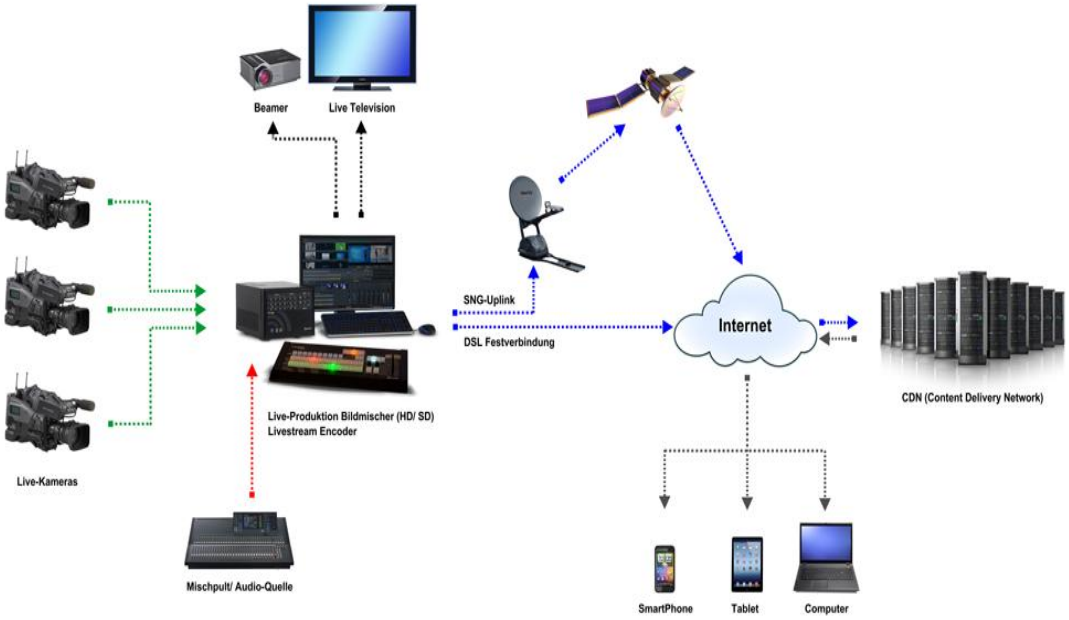
Usluga video na zahtjev će se izvršiti *unicast* tokom podataka (slijed prema jednom odredištu) prema mogućnostima IP mreže i RSTP (engl. *Rapid Spanning Time Protocol*) protokolom. Pomoću EPG-a (engl. *Electronic Program Guide*) moguće je pristupiti svim raspoloživim VoD sadržajima koristeći daljinski upravljač krajnjega korisničkoga uređaja. Kod gledanja sadržaja videa na zahtjev doživljaj je na istoj razini kao kod korištenja videorekordera ili raznih DVD uređaja.[32]

Pružatelj usluge može definirati na koji način će se dozvoliti pristup sadržaju (npr. jednokratno gledanje, dozvoljeno gledanje u nekom vremenskom periodu; 6 sati, 24 sata, 48 sati i slično).[33]

U slučaju prijenosa videosadržaja uživo proces je sličan prijenosu videa na zahtjev. Ako se radi npr., o prijenosu prema više točaka (*multicast*) i prijenosu uživo, onda poslužitelj kodira upravo snimljeni sadržaj. Sadržaj se šalje u paketima prema korisnicima do točke gdje se paketi granaju prema svakom pojedinom korisniku. Tu se sadržaj duplicira te se svim rutama dalje šalje njihova preslika. Propusnost pristupne mreže kod prijenosa videa strujanjem ima konstantnu brzinu prijenosa (engl. *Constant Bit Rate* - CBR) i mnogo češće varijabilnu brzinu prijenosa (engl. *Variable Bit Rate* - VBR) što ovisi o načinu kodiranja videa. Varijabilnu brzinu prijenosa mnogo češće zahtijeva *Interframe* video kompresija zbog svog načina rada. Kod VBR prometa šalju se samo oni dijelovi slike koji se mijenjaju i može biti vrlo različito na svakoj sljedećoj sceni pa je mnogo teže predvidjeti promet. Ukoliko dođe do pogreške na kodiranju ili prijenosu određene slike, na korisnikovoj strani će biti pogreška na svim slikama na kojima se dogodi promjena tog dijela slike s obzirom na onu na kojoj se pogreška dogodila. Uz planiranje kapaciteta linka, važno je planirati kapacitete međuspremnika rutera te vrijeme početka reprodukcije na korisnikovoj strani. Kod optimalno izvedenog početka reprodukcije i dovoljnog kapaciteta međuspremnika moguće je izbjeći neželjene utjecaje manjeg kašnjenja. Tu se radi o dvosmjernoj komunikaciji s vrlo

[30] https://www.slideshare.net/nik0la/http-protokol
[31] https://www.ietf.org/proceedings/88/slides/slides-88-tsvarea-10.pdf
[32] Rihtarec, T.: Televizija utemeljena na internetskom protokolu, *IPTV*, Ericsson Nikola Tesla, Zagreb, revija, 2008.
[33] Rihtarec, T.: Televizija utemeljena na internetskom protokolu, *IPTV,* Ericcson Nikola Tesla, Zagreb, revija, 2008.

asimetričnim tokovima. Jednako kao i kod videa na zahtjev u smjeru korisnika šalje se multimedijski sadržaj, dok korisnik u odlaznom smjeru šalje samo kontrolne informacije.[34] Primjer prijenosa videosadržaja strujanjem prikazan je slikom 4.



Slika 4. Usluge strujanja videosadržaja[35]

[34]Stockhammer, T., H. Jenkac, G. Kuhn: *Streaming Video Over Variable Bit-Rate Wireless Channels*, IEEE transactions on multimedia, Vol. 6, no. 2, 2004.
[35] http://www.bmk.tv/wp-content/uploads/2012/06/Livestream-CDN-Schema-Setup.png

4. Alati i sadržaji korišteni u analizi prometnog toka

Analiza mrežnog prometa jest postupak kojim se mrežni paketi presreću te analiziraju. Presretanje paketa podrazumijeva čitanje paketa od strane aplikacije kojoj paket nije originalno namijenjen. Uhvaćeni se paketi nakon hvatanja i zapisivanja prosljeđuju na odredište, odnosno mrežni promet se samo snima bez izmjene ili blokiranja komunikacije. Drugi naziv za analizatora paketa jest *sniffer*. Takvi alati su sposobni dekodirati informacije specifične za protokole danih paketa te ih prikazati u čitljivom obliku. Najčešća je primjena takvih alata ipak praćenje mreže i otkrivanje problema kao i rješavanje istih te je upravo u tu svrhu prilagođen alat koji će detaljnije biti opisan u nastavku.[36]

U današnje vrijeme je došlo do izrazito velikog rasta broja korisnika društvenih mrežnih aplikacija kao što su *Youtube, Skype, Facebook* i *Live Streaming-a*. Navedene aplikacije postaju sve više popularnije među mrežnim korisnicima. Međutim, korisno je i interesantno znati kako te aplikacije zapravo rade i kako se distribucija sadržaja odvija. Generalno, za analizu prijenosa toka podataka potrebno je pokrenuti video s navedenih aplikacija. Međutim, u svrhu ovog istraživanja videosadržaji nisu ciljano birani već su nasumično odabrani. Skype je jedina od navedenih aplikacija koja ostvaruje dvosmjernu komunikaciju te se analizirao videopoziv između korisnika. Detaljni opis pojedinih mrežnih aplikacija te analizirani sadržaji biti će opisani u nastavku.

4.1. Alat *Wireshark*

Programski alat *Wireshark* je besplatan, a koristi se za analizu mrežnog prometa i rješavanje mrežnih problema te razvoj mrežnih protokola i za edukativne svrhe te je otvorenog koda. Ovaj program radi analizu prometnog toka podatka koji u paketima putuju mrežom i prikazuje ih na najdetaljniji mogući način. U prošlosti, alati slični *Wiresharku* su bili skupi i najčešće komercijalni. Dolaskom alata *Wireshark* na tržište situacija se promijenila. *Wireshark* je danas vjerojatno najbolji i *open source* alat dostupan na tržištu. Neki od primjera korištenja ovog alata su:

- ✓ otklanjanje problema na mreži,
- ✓ analiza sigurnosnih ranjivosti,
- ✓ razvoj i implementacija novih protokola te

[36] http://www.cis.hr/sigurosni-alati/pracenje-mreznog-prometa.html

- ✓ učenje o mrežnim protokolima.

Dostupan je za više različitih operacijskih sustava primjeri kojih su: GNU/Linux, OS X, BDS, Solaris i Microsoft Windows. Postoji i verzija za terminal zvana *TShark*. Razvijen je u programskim jezicima C i C++, a razvio ga je *Wireshark* tim.[37]

Wireshark je jedan od najpopularnijih alata za analizu uhvaćenih paketa. Hvatanje trenutnog mrežnog prometa je središnja funkcija *Wireshark* program. Glavne funkcionalnosti koje pruža za hvatanje paketa su:

- ✓ Hvatanje prometa na fizički različitim medijima prijenosa.
- ✓ Zaustavljan je hvatanja ovisno o predodređenim događajima kao što su: količina uhvaćenih podataka, proteklo vrijeme te broj uhvaćenih paketa.
- ✓ Prikaz dekodiranih paketa tijekom hvatanja drugih.
- ✓ Filtriranje paketa ovisno o postavljenim parametrima.
- ✓ Pohrana uhvaćenog sadržaja za buduću analizu.
- ✓ Istovremeno hvatanje podataka na više mrežnih sučelja.

Da bi se pokrenulo hvatanje paketa potrebno je osigurati potrebna dopuštenja odnosno pravo na hvatanje paketa na zadanom mjestu u mreži te je potrebno ispravno odabrati mrežno sučelje preko kojeg prolaze podaci od interesa.[38] Kako pruža mogućnost analize prikupljenih paketa na najdetaljniji način, najpraktičniji je za analizu uhvaćenih paketa. U radu se koristi za prikaz uhvaćenih paketa s različitih videosadržaja te detaljnu analizu prikupljnih paketa. U nastavku su opisani alati programa *Wireshark*.

4.1.1. Grafičko sučelje

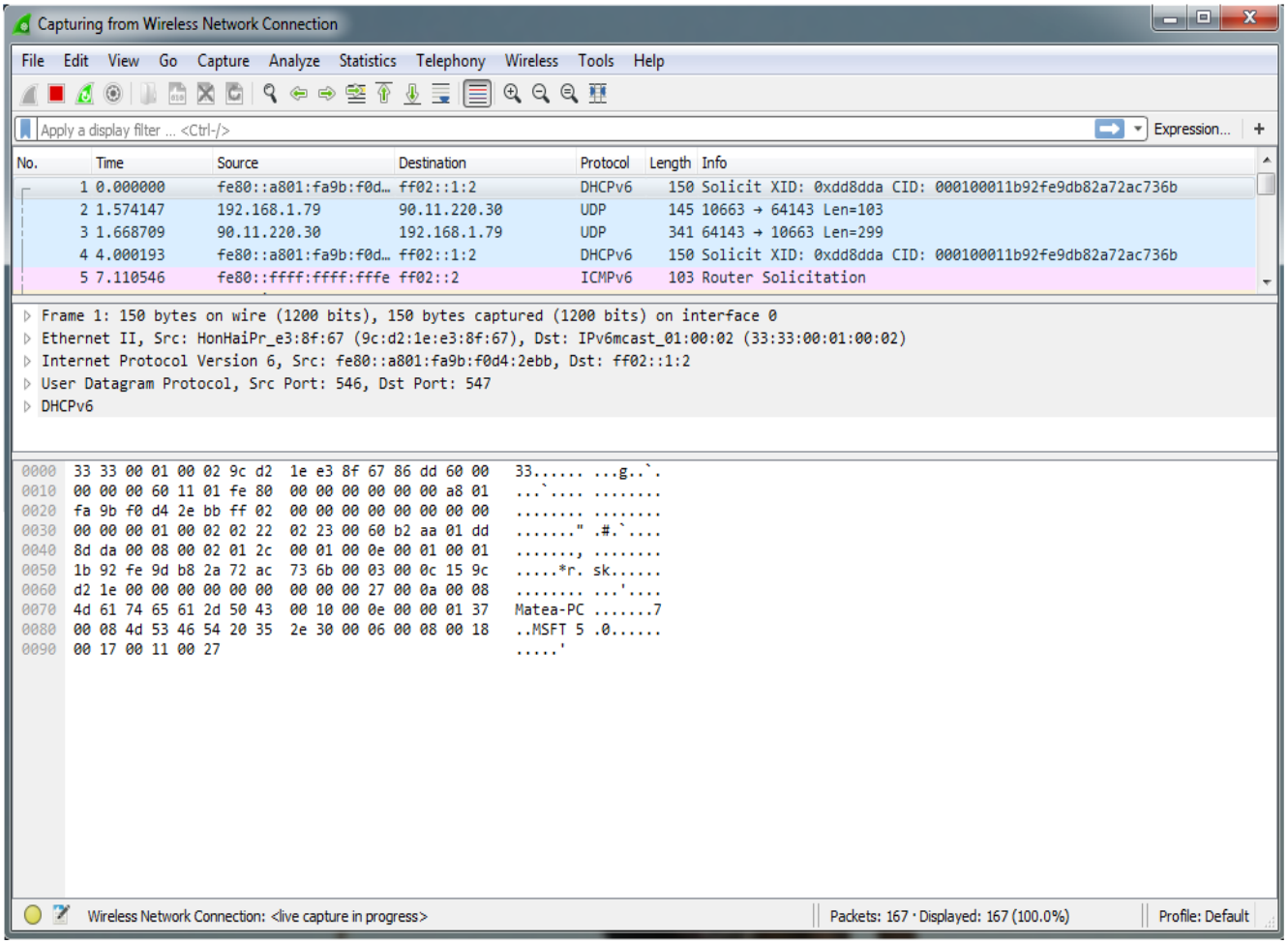
Izgled glavnog prozora prilikom analize uhvaćenih paketa prikazan je na slici 5. Glavni prozor može se podijeliti na 7 logičkih cjelina:

1. Izbornik - služi za pokretanje akcija,
2. Glavna alatna traka- pruža brzi pristup često korištenim alatima,
3. Alatna traka za filtriranje,
4. Lista uhvaćenih paketa,
5. Lista detalja o trenutno selektiranom paketu,

[37] https://www.wireshark.org/

[38] https://www.wireshark.org/

6. Oktalan zapis trenutno selektiranog paketa,
7. Statusna traka.



Slika 5. Prikaz grafičkog sučelja *Wireshark* programa

4.1.2. Izbornik

Izbornik omogućuje sljedeće opcije:

- *File* - omogućuje otvaranje i spajanje različitih datoteka te spremanje, ispis i izvoženje kompletnih ili dijelova uhvaćenih paketa odnosno datoteka. Pruža mogućnost vremenskog tempiranja programa.
- *Edit* - omogućuje traženje paketa, njihovog referenciranja i vremenskog označavanja. Pruža podešavanje konfiguracije i postavljanje vlastitih performansi u programu.
- *View* - omogućuje prikaz uhvaćenih paketa.
- *Go* - omogućuje određivanje pozicije za određeni paket.

- *Capture* - pruža mogućnosti hvatanja paketa te podešavanja filtriranja paketa koji se hvataju.
- *Analyze* - omogućuje prikaz filtara, analizu protokola te konfiguriranje korisničkih dekodiranja uhvaćenih paketa. Pruža praćenje TCP protoka.
- *Statistics* - omogućuje prikaz raznih statistika uhvaćenih paketa te prikaz protokolarne hijerarhije.
- *Telephony* - pruža mogućnosti prikaza raznih statistika vezanih uz telefoniju.
- *Wireless* - pruža mogućnosti prikaza raznih statistika vezanih uz bežičnu mrežu.
- *Tools* - pruža informacije o unutrašnjim funkcioniranjima samog *Wireshark* alata.
- *Help* - pruža korisniku pomoć pri korištenju alata.

4.1.3. Glavna alatna traka

Glavna alatna traka pruža brzi pristup često korištenim alatima i funkcionalnosti navedene u tablici 2.

Tablica 2. Popis stavki glavne alatne trake

Ikona u alatnoj traci	Ime stavke	Opis stavke
	Start capturing packets	Služi za pokretanje hvatanja paketa po trenutnim postavkama
	Stop capturing packets	Služi za zaustavljanje hvatanja paketa
	Restart current capture	Zaustavlja trenutni proces hvatanja paketa te pokreće novi
	Capture options	Opcije hvatanja paketa
	Open a capture file	Omogućuje učitavanje datoteka s prije uhvaćenim paketima
	Save this capture file	Omogućuje spremanje trenutno uhvaćenih paketa u obliku datoteke
	Close this capture file	Omogućuje prekidanje i zatvaranje trenutnog hvatanja paketa
	Reload this file	Omogućuje ponovno učitavanje zatvorene datoteke s uhvaćenim paketima
	Find a packet	Pokreće prozor za traženje specifičnog paketa

	Go to the previous packet	Omogućuje pomicanje unazad po paketima
	Go to the next packet	Omogućuje pokretanje unaprijed po paketima
	Go to specified packet	Pokreće prozor za pozicioniranje na određeni paket
	Go to the first packet	Pozicionira korisnika na prvi uhvaćeni paket
	Go to the last packet	Pozicionira korisnika na zadnji uhvaćeni paket
	Automatically scroll to the last packet during a live capture	Uključuje automatsko pomicanje liste paketa prilikom trenutno aktivnog hvatanja paketa
	Draw packets using your coloring rules	Uključuje/isključuje višebojni prikaz uhvaćenih paketa
	Enlarge the main window text	Omogućuje povećanje fonta podataka o uhvaćenom paketu
	Shrink the main window text	Omogućuje smanjenje fonta podataka o uhvaćenom paketu
	Return the main window text to its normal size	Vraća font podataka o uhvaćenom paketu na početnu veličinu
	Resize packet list columns to fit contents	Prilagođava širinu stupaca koji sadrže podatke o uhvaćenom paketu tako da odgovaraju sadržaju

4.1.4. Alatna traka za filtriranje

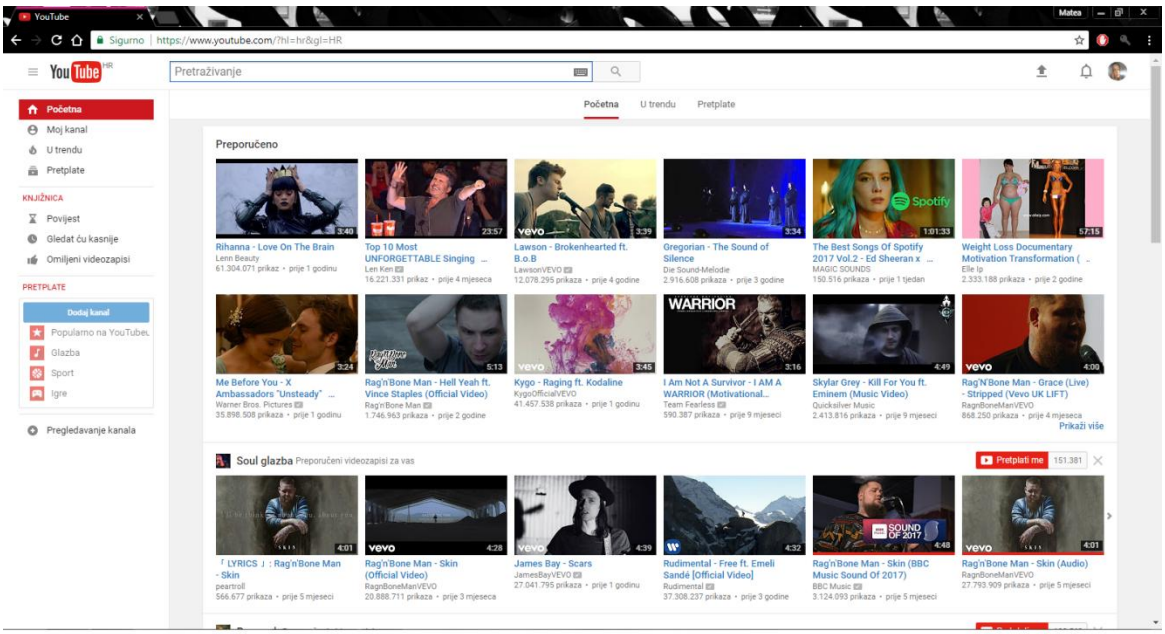
Alatna traka za filtriranje omogućuje brzo postavljanje postavki vezanih uz prikazne filtre. Njezine funkcionalnosti navedene su u tablici 3.

Tablica 3. Popis stavki alatne trake za filtriranje

Ikona u alatnoj traci	Ime stavke alatne trake	Opis
	Manage saved bookmarks	Pokreće prozor s prikazom detalja trenutnog filtra
	Apply this filter spring to the display	Primjeni trenutnu vrijednost kao prikazani filter
	Select from previously used filters	Primjeni prethodnu vrijednost kao prikazani filter
	Add an expression to the display filter	Omogućuje ažuriranje prikazanog filtra
	Add a display filter button	Omogućuje prikaz filtra

4.2. Korišteni portali i sadržaji za analizu prometnog toka

YouTube je popularni internet videoportal za razmjenu video sadržaja gdje korisnici mogu video isječke (glazba, filmovi, serije, smješne snimke, sportske snimke i dr.) postavljati, gledati, dijeliti, ocjenjivati, komentirati i dodati na listu omiljenih video sadržaja. Reprodukcija video materijala odvija se na zahtjev. Na slici 6 prikazan je izgled *YouTube* stranice koji se može koristiti na mobilnom uređaju, tabletu, laptopu, televiziji i dr.



Slika 6. Prikaz *YouTube* portala

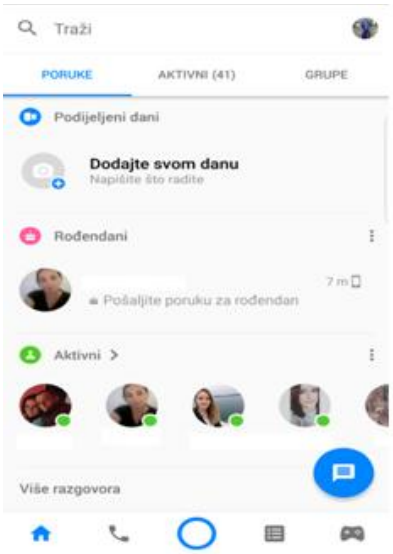
Praćeni videosadržaj je bio HD (engl. *High Definition*) kvalitete pružajući visoku frekvenciju okvira - brzinu slike te bolju kvalitetu zvuka.

Facebook je internetska društvena mreža koja se koristi za dijeljenje različitog sadržaja, prijava na lokaciju i dr. Omogućuje dijeljenje videosadržaja bilo to emitiranje uživo ili unaprijed snimljeni snimak. Slika 7 prikazuje izgled *Facebook* stranice koja se također može koristiti u obliku aplikacije.

Slika 7.Prikaz *Facebook* stranice

Praćeni videosadržaj je bio SD (engl. *Standard Definition*) kvalitete pružajući standardnu brzinu slike te slabiju kvalitetu zvuka.

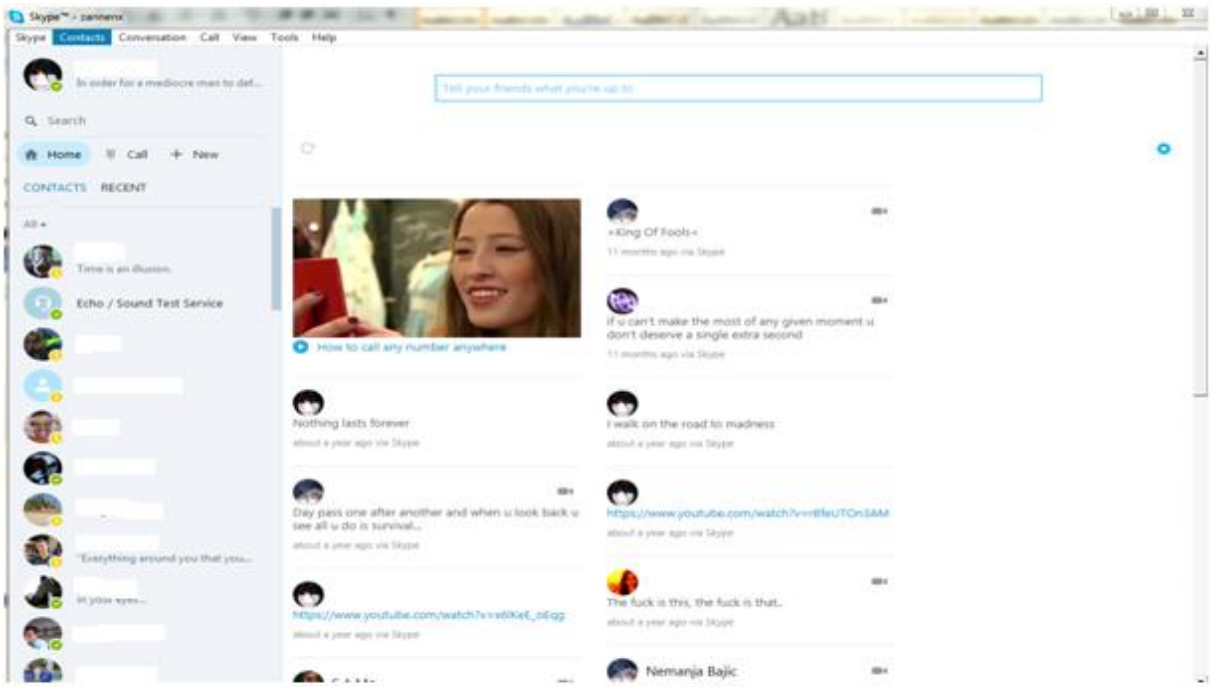
Messenger je aplikacija koja se koristi za besplatno slanje poruka, fotografija, video sadržaja, videopozive te glasovne pozive (slično kao i *Skype*). Ova aplikacija se nalazi u sklopu *Facebook* aplikacije, a može se koristiti i bez prijave. Izgled aplikacije vidljiv je na slici 8.



Slika 8. Prikaz *Messenger* aplikacije na mobilnom uređaju

Skype je program za brzo internetsko dopisivanje. Ima mogućnost komuniciranja pisanim porukama, telefonskim pozivima te internetskim pozivima. Kako je besplatan,

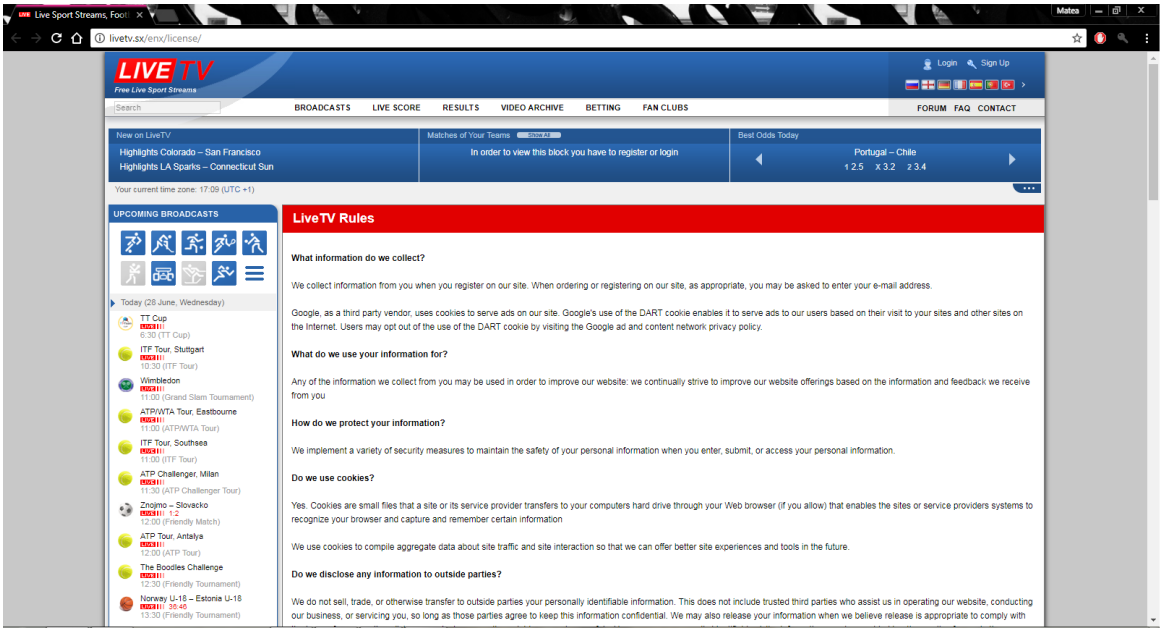
doživio je vrlo veliku popularnost kod korisnika. Pruža bolju video i glasovnu kvalitetu za razliku od ostalih VoIP (engl. *Voice over Internet Protocol*) aplikacija, a funkcionira na principu protokola za prijenos glasa putem Internet mreže uz šifrirano povezivanje korisnika. Kako bi *Skype* funkcionirao potrebno je da *firewall* korisnika računala dozvoli „prolaz“, odnosno omogući prijenos podataka (glas, tekst, video, slike). Video komunikacija između dva korisnika zapravo predstavlja prijenos videosadržaja uživo. Slika 9 prikazuje izgled aplikacije *Skype.*



Slika 9. Prikaz aplikacije *Skype*

Kvaliteta videopoziva ovisi o kvaliteti internet signala, a provjera je moguća na „*Call Quality Indicator*“ računalnom tabu gdje se vidi da li raćunalo ima kakvih problema. Kako je korišten WiFi (engl. *Wirelles-Fidelity*), odnosno bežični internet brzina prijenosa je bila dovoljna za HD kvalitetu videa.

Live Sport Streams je internet stranica koja se koristi za prijenos/gledanje uživo sportskih događaja. Korisnici mogu pratiti prijenos nogometnih utakmica, hokeja, tenisa, vaterpola, plivanja i dr. što je prikazano na slici 10. Odabirom sportskog sadržaja pruža se mogućnost biranja poveznice (*link*), preko kojeg se *stream-a* utakmica ili neka sportska aktivnost.

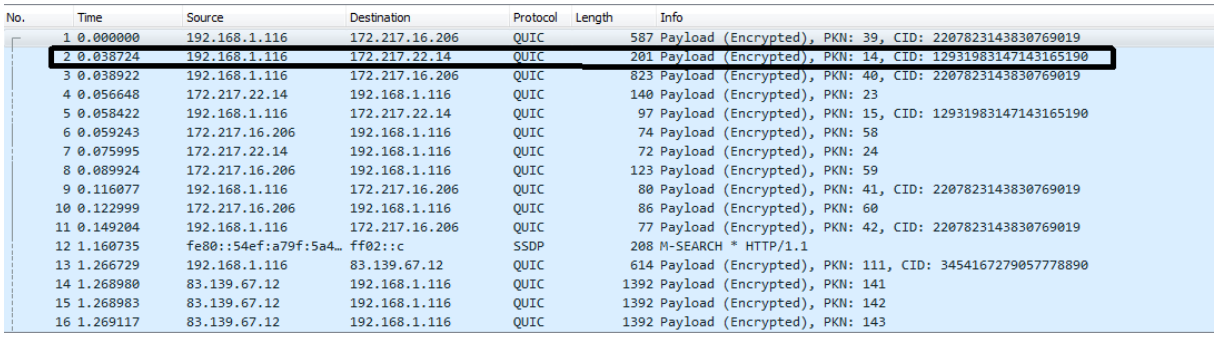


Slika 10. Prikaz *Live Sport Streams* portala

Praćeni videosadržaj sportske utakmice je HD kvalitete, no sama kvaliteta slike uživo uveliko ovisi o brzini veze, kvaliteti veze, kvaliteti slike samog kanala, itd.

5. Analiza prijenosa videosadržaja ovisno o korištenim protokolima

Korištenjem programskog alata *Wireshark* analiziran je prometni tok između pošiljatelja i primatelja. Kako bi se analizirao prijenos potrebno je prikupiti uhvaćene pakete. Za tu svrhu se koristi programski alat *Wireshark* koji prikazuje uhvaćene pakete. Lista uhvaćenih paketa prikazuje uhvaćene pakete i osnovne informacije o njima koja pruža mogućnosti biranja pojedinačnog paketa vidljivo na slici 11.



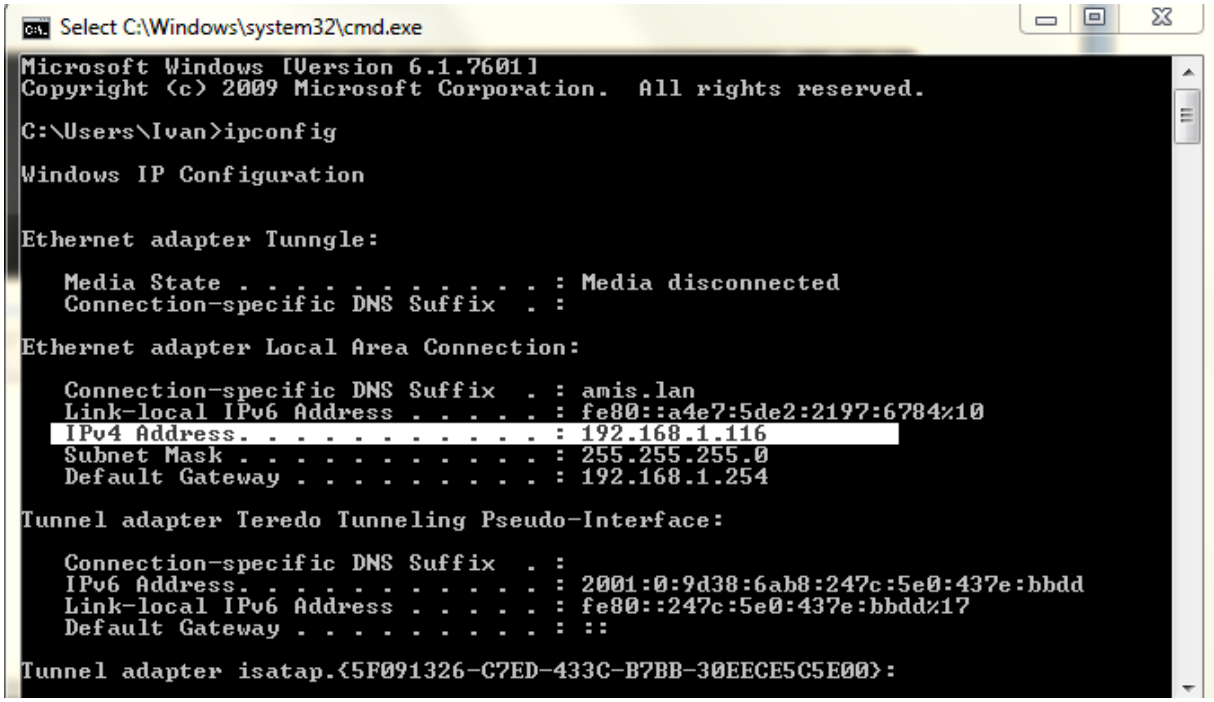
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	192.168.1.116	172.217.16.206	QUIC	587	Payload (Encrypted), PKN: 39, CID: 2207823143830769019
2	0.038724	192.168.1.116	172.217.22.14	QUIC	201	Payload (Encrypted), PKN: 14, CID: 12931983147143165190
3	0.038922	192.168.1.116	172.217.16.206	QUIC	823	Payload (Encrypted), PKN: 40, CID: 2207823143830769019
4	0.056648	172.217.22.14	192.168.1.116	QUIC	140	Payload (Encrypted), PKN: 23
5	0.058422	192.168.1.116	172.217.22.14	QUIC	97	Payload (Encrypted), PKN: 15, CID: 12931983147143165190
6	0.059243	172.217.16.206	192.168.1.116	QUIC	74	Payload (Encrypted), PKN: 58
7	0.075995	172.217.22.14	192.168.1.116	QUIC	72	Payload (Encrypted), PKN: 24
8	0.089924	172.217.16.206	192.168.1.116	QUIC	123	Payload (Encrypted), PKN: 59
9	0.116077	192.168.1.116	172.217.16.206	QUIC	80	Payload (Encrypted), PKN: 41, CID: 2207823143830769019
10	0.122999	172.217.16.206	192.168.1.116	QUIC	86	Payload (Encrypted), PKN: 60
11	0.149204	192.168.1.116	172.217.16.206	QUIC	77	Payload (Encrypted), PKN: 42, CID: 2207823143830769019
12	1.160735	fe80::54ef:a79f:5a4…	ff02::c	SSDP	208	M-SEARCH * HTTP/1.1
13	1.266729	192.168.1.116	83.139.67.12	QUIC	614	Payload (Encrypted), PKN: 111, CID: 3454167279057778890
14	1.268980	83.139.67.12	192.168.1.116	QUIC	1392	Payload (Encrypted), PKN: 141
15	1.268983	83.139.67.12	192.168.1.116	QUIC	1392	Payload (Encrypted), PKN: 142
16	1.269117	83.139.67.12	192.168.1.116	QUIC	1392	Payload (Encrypted), PKN: 143

Slika 11. Primjer liste uhvaćenih paketa

Pojedinačnim odabirom paketa može se vidjeti IP adresa pošiljatelja (IP *source*) te onoga koji prima pakete (IP *destination*) prikazano na slici 11. Isto tako prikazuje korišteni protokol koji je moguće pratiti kroz cijeli prijenos videosadržaja. U nastavku su opisani protokoli koji su praćeni kroz prikupljanje podataka sa biranih videosadržaja,a za analizu prijenosa videosadržaja ovisno o korištenim protokolima koristi se IP vlastitog računala te IP biranog videosadržaja na zahtjev i videosadržaja uživo.

5.1. IP adresa računala

Jedan od načina kako doći do vlastite IP adrese je koristenjem komandne linije (engl. *Command Prompt* - CMD). CMD predstavlja komandni centar koji ima iste funkcije kao i komande na starijim MS-DOS (engl. *MicroSoft Disk Operating System*) sustavima prikazan na slici 12. MS-DOS predstavlja operacijski sustav bez ikakvog grafičkog sučelja (isključivo tekstualno sučelje), gdje se unošenje naredbi i pokretanje aplikacija isključivo obavlja tipkovnicom. Njegove programerske mogućnosti su bolje od Windowsa, ali su zato i kompliciranije za korištenje.



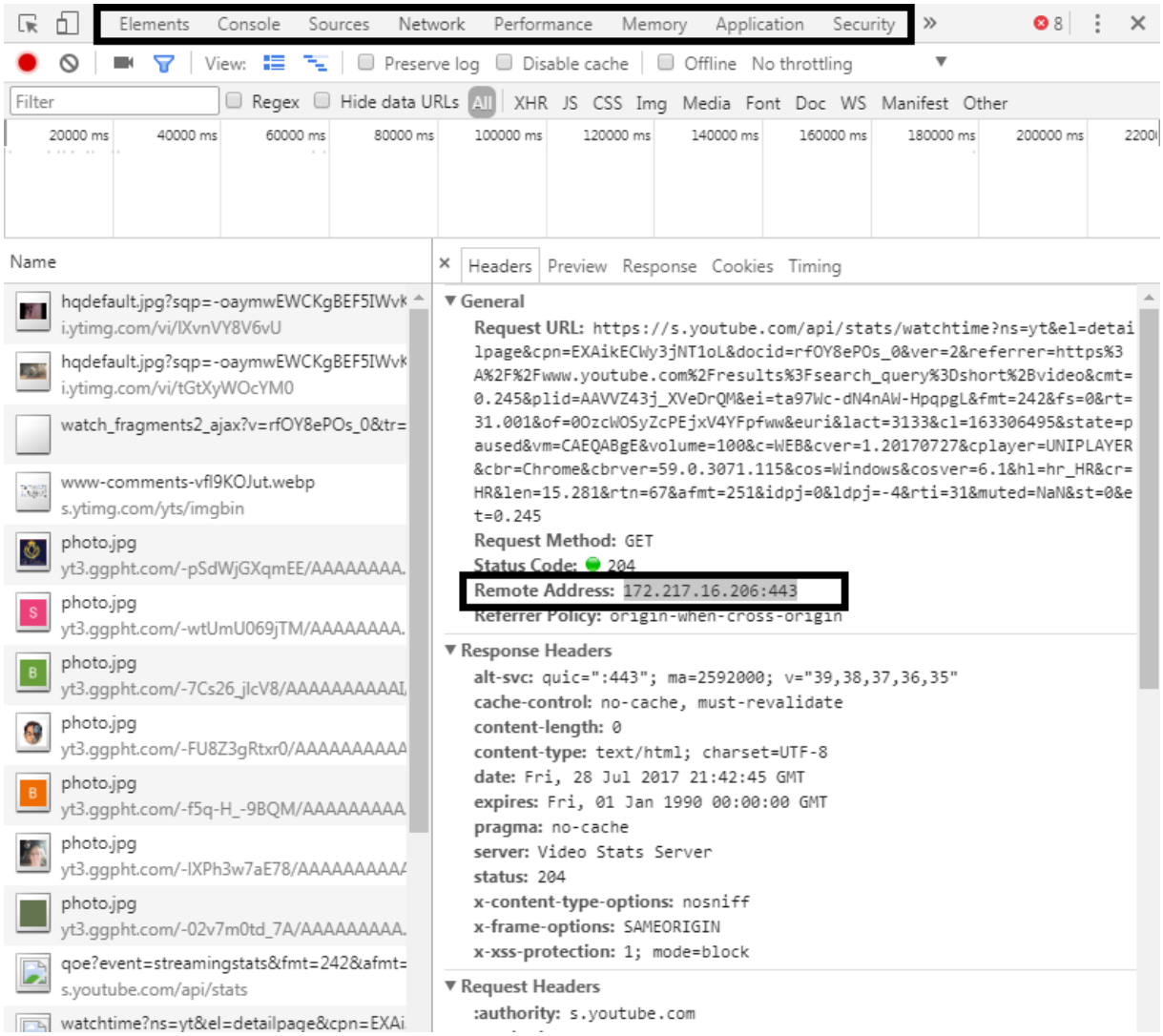
Slika 12. Prikaz komandne linije (CMD)

Pomoću naredbe ipconfig došlo se do IP adrese računala s kojeg su se pratiti uhvaćeni paketi. IP adresa računala je **192.168.1.116** vidljivp na slici 12.

5.2. IP adresa videosadržaja

Prikaz IP adrese videosadržaja na zahtjev ili uživo moguć je pristupom željenog sadržaja te odabirom provjere videa koji se gleda prikazan na slici 13. Provjerom se pristupa razvojnim alatima (engl. *Developer Tools* - DevTools) koji se sastoji od:

- *Elements* - pregled sastava stranice u HTML (engl. *HyperText Markup Language* - HTML) formatu. HTML je prezentacijski jezik za izradu web stranica koji se sastoji od znakova i teksta, a opisuje dokument.
- *Console* - pruža funkcije testiranja web stranica i aplikacija za razvojne programere.
- *Sources* - alat za brzo okrivanje uzroka problema i uklanjanje pogreške.
- *Network* - pruža uvid u resurse skinute preko mreže u realnom vremenu.
- *Performance* - pruža kombinirane funkcije vremenske linije i JavaScript-a.
- *Memory* - mogućnost memoriranja.
- *Application* - aplikacijski manifest.
- *Security* - pregled sigurnosti.



Slika 133. Informacije o videosadržaju na Youtube poslužitelju

Potrebno je spomenuti da optimizacija stranice traje duže od očekivanog zbog identificiranja i rješavanja zahtjeva za uvidom u tražene i skinute resurse. Primjer IP adrese poslužitelja na kojemu je pohranjen video je **172.217.16.206** vidljiv na slici 13.

5.3. Praćenje toka

TCP je jedan od osnovnih protokola transportnog sloja. Pomoću njega aplikacija stvara virtualni kanal prema odredištu te komunicira preko tog virtualnog kanala. Cilj ovog protokola jest da svi isporučeni podaci budu točno preneseni kroz komunikacijski kanal. *Wireshark* pruža mogućnosti tumačenja podataka na način na koji ih tumači aplikacijski sloj prilikom praćenja TCP komunikacije. Kako bi se pratio TCP protok informacije dovoljno je da se odabere određeni paket koji primjenjuje TCP protokol i izabere opcija praćenja TCP

komunikacije. Nakon odabira željene opcije pokreće se prozor koji prikazuje podatke razmijenjene u TCP komunikaciji.

Podaci koji su prikazani u odabranom TCP toku poredani su onim redoslijedom kako su se pojavljivali u mreži. Ovisno o njihovom smjeru kretanja u komunikaciji podaci mogu biti prikazani u crvenoj ili plavoj boji.[39]

Kao i TCP, UDP je jedan od osnovnih protokola transportnog sloja. Cilj UDP-a je prijenos informacija u što kraćem vremenu te se koristi za slanje kratkih poruka između entitea u mreži. *Wireshark* pruža jednaku opciju tumačenja podataka kao i kod TCP-a. Isto kao i kod TCP-a, odabire se UDP paket te se pokreće prozor s aplikacijskim prikazom interpretacije podataka razmijenjenih ovim protokolom. Isto kao i kod TCP-a podaci su poredani redoslijedom pojavljivanja u mreži, a bojom su prikazani smjerovi kretanja u komunikaciji.[40]

QUIC (engl. *Quick UDP Internet Connections* - QUIC) novi je transportni protokol za prijenos podataka Internet mrežom, koji je razvio Google. On rješava brojne probleme transportnog i aplikacijskog sloja zbog modernizacije web aplikacija, a zahtijeva malu ili nikakvu promjenu. Implementiran je na vrhu UDP-a. QUIC kao samostalni protokol omogućuje inovacije koje nisu moguće s postojećim protokolima jer ih ometaju nasljedni klijenti. Kao i kod ostalih protokola *Wireshark* pruža opciju tumačenja odabirom željenog paketa i pokretanjem prozora.

5.4. Analiza prikupljenih podataka

Jedni od najvažnijih i najkorisnijih softvera za rješavanje problema i praćenja toka mreže su analizatori mreže. Jedan od njih koji je ujedno i među popularnijima jest *Wireshark*. Pomoću programa *Wireshark* i IP adresa različitih poslužitelja videosadržaja sa *YouTube-a*, *Facebook-a*, *Skype-a* te *Live Sport Streams-a* analizira se prijenos toka paketa. Prvo se analizirao prijenos paketa videosadržaja na zahtjev koristeći *YouTube* i *Facebook*, a zatim videosadržaj uživo koristeći *Skype* i *Live Sport Sream*.

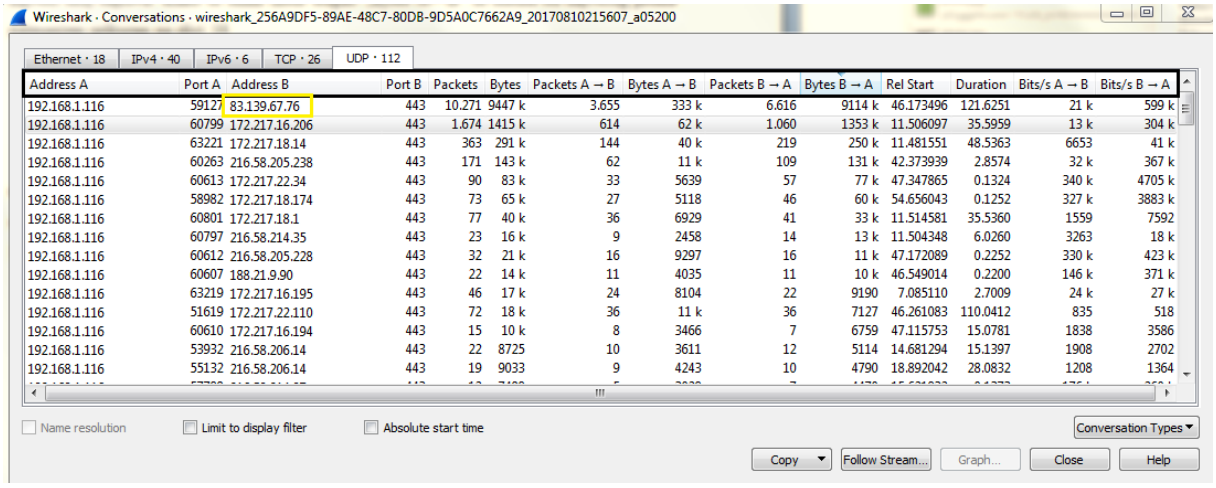
[39] Chappell L.,Combs G., *Wireshark 101: Essential Skills for Network Analysis, 2013.*
[40] Chappell L.,Combs G., *Wireshark 101: Essential Skills for Network Analysis, 2013*

5.4.1. Analiza prometa videosadržaja aplikacije YouTube

Koristeći *YouTube* pratio se tok paketa videoisječka kako bi se analizirala brzina prijenosa između klijenta i pošiljatelja, broj pristiglih paketa te korišteni protokoli transportnog sloja. Kako je bilo spomenuto u poglavlju 5.1. za analizu će biti potrebna IP adresa računala (klijenta) koja je **192.168.1.116.** Kako bi se bolje shvatio princip rada *YouTube-a* potrebno je naglasiti da isti video na računalo korisnika može stići s različitih poslužitelja. Stoga je jasno da se videosadržaj s portala *Youtube* reproducira sa stotinu različitih poslužitelja, reklamnih „*pop up*“ i linkova koji su raspoređeni po različitim lokacijama.

Kako bi se započelo s analizom potrebno je uključiti aplikaciju *Wireshark* i postaviti da hvata pakete. Nakon toga je potrebno pristupiti željenoj *web* stranici, u ovom slučaju *YouTube* i pustiti video. Kako je odabir videa trajao 40 min, ograničilo se mjerenje na manji period vremena, i to dvije minute što se može vidjeti na slici 14 u stupcu *Duration*. Nakon dvije minute stopirao se *YouTube* i *Wireshark.*

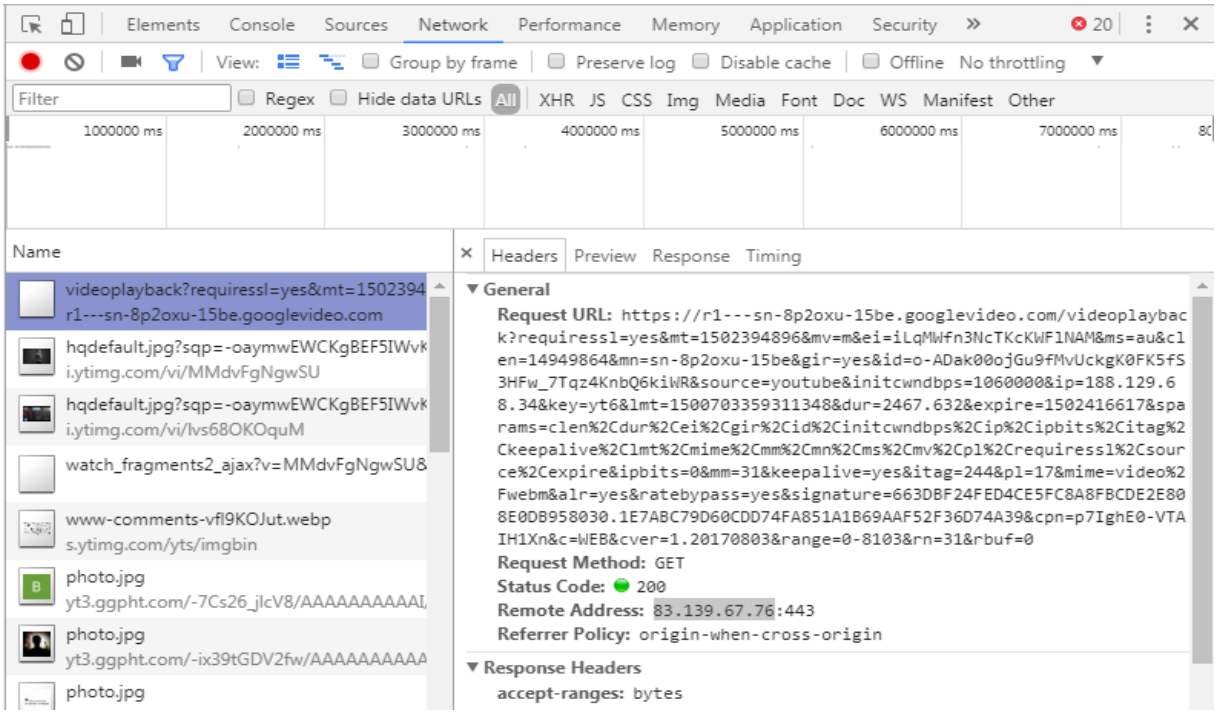
Kako je uhvaćen velik broj paketa (13985 paketa) potrebno je uključiti odgovarajuće filtere kako bi suzili uhvaćene pakete na samo one koji se odnose na videosadržaj s *Youtube* portala. U *Wiresharku* se selektira *Statistics* > *Conversations*. Kako bi se suzio izbor, stupac „*Byte*s A←B“ se sortira od najvećeg prema najmanjem prikazan na slici 14. Može se vidjeti da video ima najveći broj bajtova.



Slika 14. Prikaz komunikacije između pošiljatelja i klijenta po protokolima za videosadržaj sa *YouTube* portala

Za svaki podržani protokol tokom snimanja alatom *Wireshark* u prozoru je prikazan oznakom. Svaka oznaka prikazuje broj zabilježenih krajnjih točaka. Najviše ima oznaka

„UDP - 112“ i to zbog QUIC *Google* protokola koji se spaja na UDP. Prikazuje da je uhvaćeno 112 UDP krajnjih točaka. Tamo se nalazi i praćeni videosadržaj koji je trajao dvije minute i u tom periodu se prenijelo 10271 paket. IP adresa poslužitelja je 83.139.67.76. Na slici 14 može se vidjeti da se s poslužitelja prenijelo na klijenta 9114 kB (~8,9MB), te se može zaključiti da je to od biranog videosadržaja. Kako bi se potvrdilo da IP adresa pripada biranom videu mora se pristupiti *YouTube* portalu prikazano na slici 15.



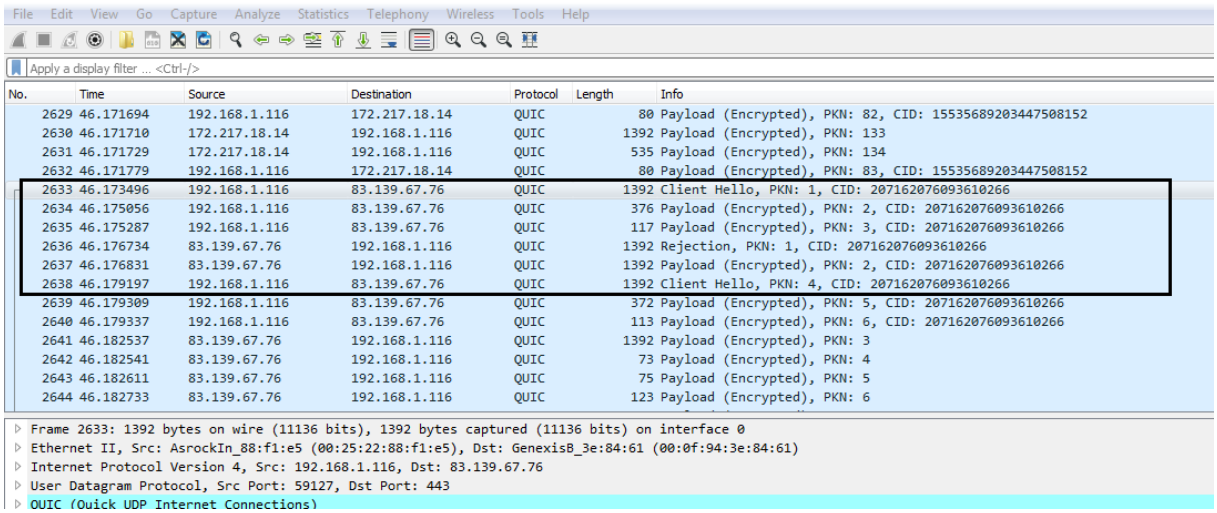
Slika 15. Prikaz IP adrese videosadržaja na *YouTube* portalu

Osim označene IP adrese 83.139.67.76, birani videosadržaj koristi više internet poslužitelja kako bi obradio željeni zahtjev. Sljedeće IP adrese također pripadaju poslužiteljima s kojih je reproduciran navedeni sadržaj:

- 172.217.23.142,
- 216.58.206.14.

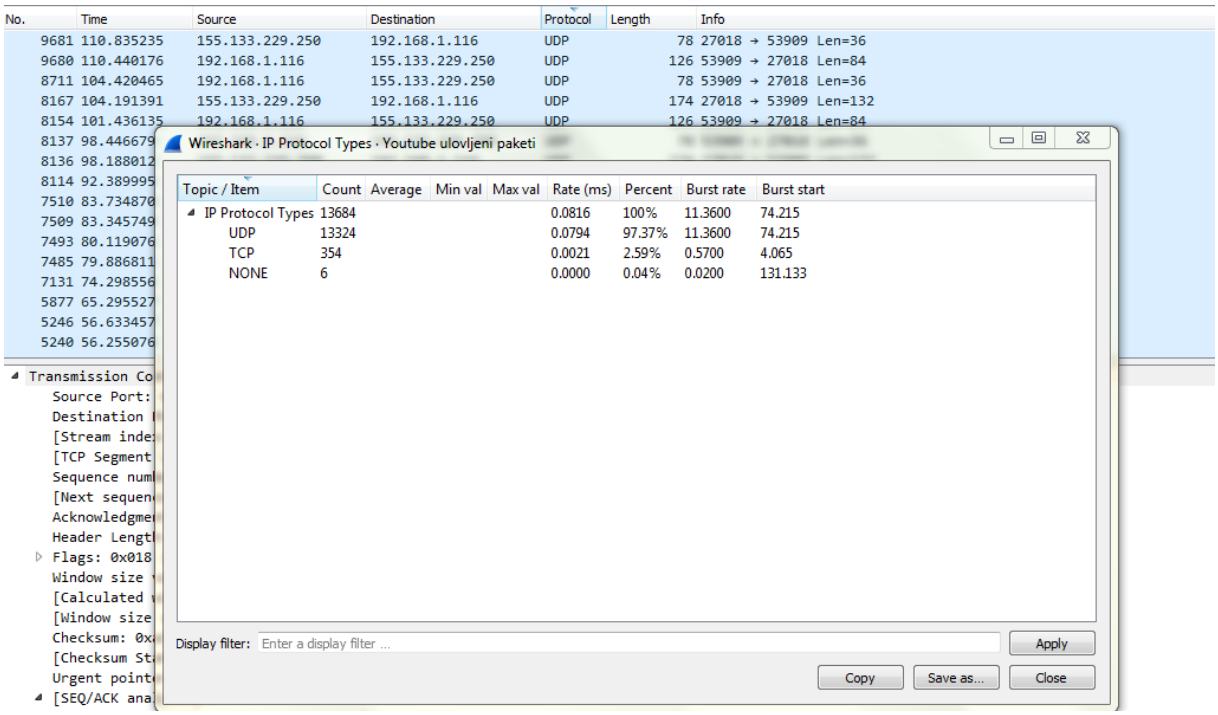
Potvrdom da se najviše paketa poslalo sa IP adrese 83.139.67.76 te da ista pripada praćenom videu, analizirala se samo komunikacija istih te se može odrediti njegova brzina prijenosa. Kao što se prije spominjalo od poslužitelja do klijenta se prenijelo 9114 kB, a videosadržaj se pratio dvije minute što je u prosjeku 599 kbit/s. Isto tako je potrebno naglasiti da i klijent vraća informaciju poslužitelju, količine podataka od 333 kB, što je u prosjeku 21 kbit/s i to je definirano procesom upita i odgovora. Prosjek se izračunava omjerom paketa ovisno o vremenu trajanja prijenosa, uz napomenu da 1 Bytes = 8 bit. Proces upita i odgovora

je objašnjen na način da klijent (izvor) zahtjeva od domenskog sustava imena (engl. *Domain Name System* - DNS) rješavanje naziva prostora i DNS poslužitelj provjerava resurse vlastite baze podataka i odgovor šalje natrag klijentu. To je prikazano na slici 16.



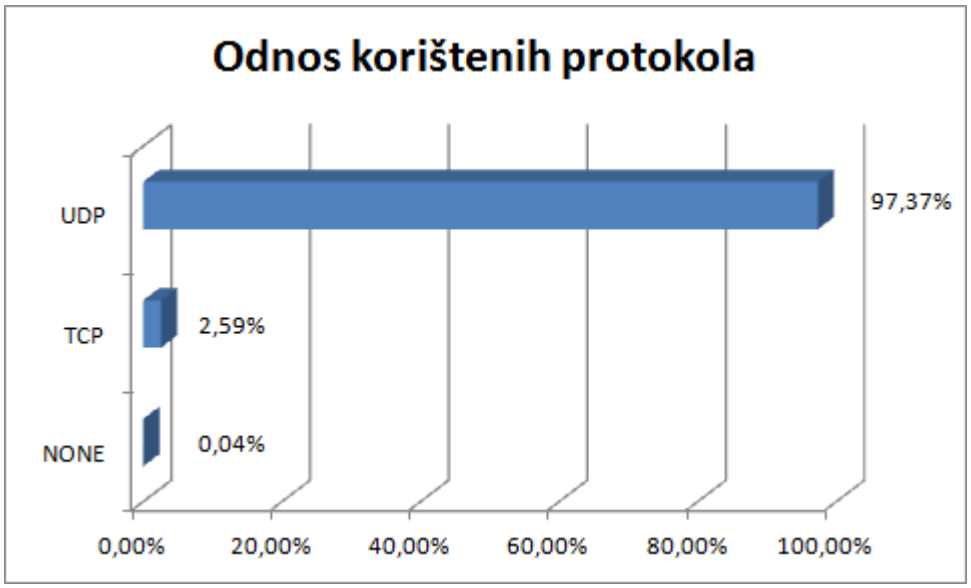
Slika 16. Povezivanje IP adrese klijenta i pošiljatelja (*YouTube*)

Slika 17 prikazuje distribuciju broja paketa ovisno o korištenim protokolima. Može se vidjeti da je 97,37% cijelokupnog prometa UDP orijentirano. TCP u drugu ruku ima samo 2,59%, a *NONE* 0,04%. Ako nije zabilježena nijedna krajnja točka određenog protokola, oznaka će biti označena sa *NONE* (povezana se stranica i dalje može odabrati).



Slika 17. Distribucija broja paketa ovisno o korištenim protokolima

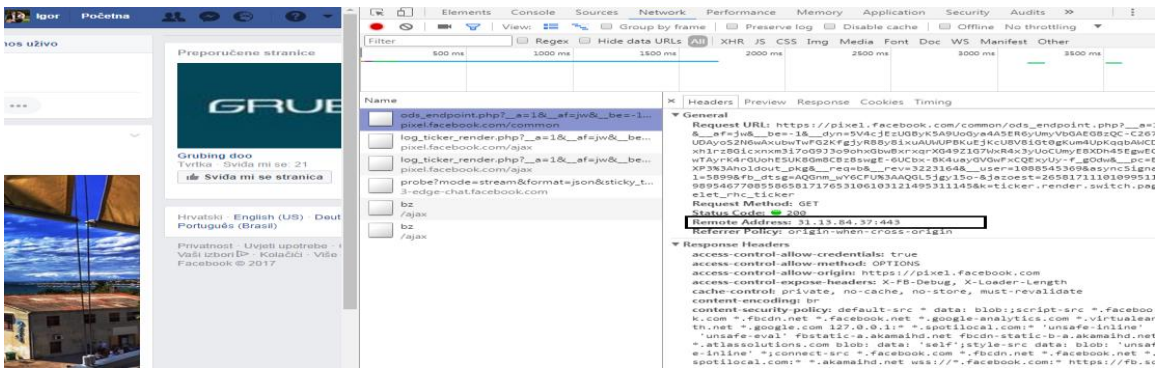
Odabirom „*Destination and ports*“ u alatu *Wireshark* može se vidjeti broj korištenih protokola te s kojih IP adresa stiže i s kojeg porta. Ukupan broj različitih paketa IP protokola iznosi 13684, od kojih je broj paketa UDP protokola 13324, TCP protokola 354, te *NONE* 6. Kako bi se jednostavnije prikazao odnos korištenih protokola prilikom cijelog hvatanja paketa u vremenu *streaming-a* videosadržaja sa portala *YouTube*, napravljen je prikaz odnosa korištenih protokola vidljiv na grafu 1.



Graf 1. Prikaz odnosa korištenih protokola (*Youtube*)

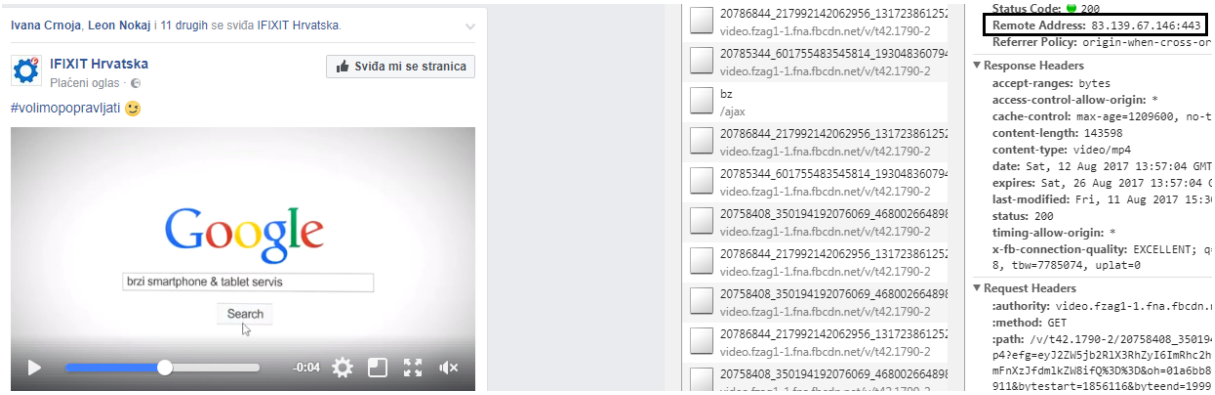
5.4.2. Analiza prometa videosadržaja aplikacije Facebook

Kod analize prometa videosadržaja aplikacije *Facebook* koristi se isti princip rada kao i kod videoportala *Youtube*. Uključuje se alat *Wireshark* i nakon toga pristupa se *Facebook* stranici te se promatraju njegovi elementi prikazani na slici 18.



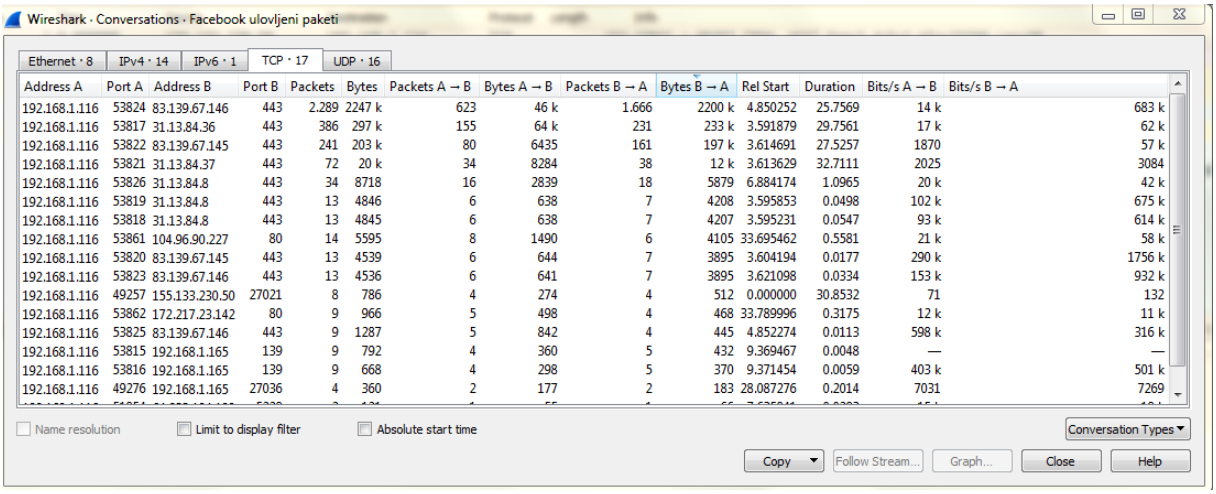
Slika 18. Prikaz IP adrese videosadržaja na *Facebook* aplikaciji

Pronalaskom nasumičnog videa promatraju se mrežni elementi i vidi se promjena u elementima, odnosno *„streaming“* s poslužitelja IP adrese 83.139.67.146 prikazana na slici 19.



Slika 19. IP adresa videosadržaja na *Facebook* aplikaciji

Zaustavljanjem alata *Wiresharka* nakon što je video trajao 25 sekundi opet se pristupa analizi prometnog toka između pošiljatelja i klijenta. Na slici 20. može se vidjeti da je opet ulovljen jako veliki broj podataka, međutim već se prije došlo do zaključka koja IP adresa se koristi za birani videosadržaj s *Facebook* aplikacije.



Address A	Port A	Address B	Port B	Packets	Bytes	Packets A → B	Bytes A → B	Packets B → A	Bytes B → A	Rel Start	Duration	Bits/s A → B	Bits/s B → A
192.168.1.116	53824	83.139.67.146	443	2.289	2247 k	623	46 k	1.666	2200 k	4.850252	25.7569	14 k	683 k
192.168.1.116	53817	31.13.84.36	443	386	297 k	155	64 k	231	233 k	3.591879	29.7561	17 k	62 k
192.168.1.116	53822	83.139.67.145	443	241	203 k	80	6435	161	197 k	3.614691	27.5257	1870	57 k
192.168.1.116	53821	31.13.84.37	443	72	20 k	34	8284	38	12 k	3.613629	32.7111	2025	3084
192.168.1.116	53826	31.13.84.8	443	34	8718	16	2839	18	5879	6.884174	1.0965	20 k	42 k
192.168.1.116	53819	31.13.84.8	443	13	4846	6	638	7	4208	3.595853	0.0498	102 k	675 k
192.168.1.116	53818	31.13.84.8	443	13	4845	6	638	7	4207	3.595231	0.0547	93 k	614 k
192.168.1.116	53861	104.96.90.227	80	14	5595	8	1490	6	4105	33.695462	0.5581	21 k	58 k
192.168.1.116	53820	83.139.67.145	443	13	4539	6	644	7	3895	3.604194	0.0177	290 k	1756 k
192.168.1.116	53823	83.139.67.146	443	13	4536	6	641	7	3895	3.621098	0.0334	153 k	932 k
192.168.1.116	49257	155.133.230.50	27021	8	786	4	274	4	512	0.000000	30.8532	71	132
192.168.1.116	53862	172.217.23.142	80	9	966	5	498	4	468	33.789996	0.3175	12 k	11 k
192.168.1.116	53825	83.139.67.146	443	9	1287	5	842	4	445	4.852274	0.0113	598 k	316 k
192.168.1.116	53815	192.168.1.165	139	9	792	4	360	5	432	9.369467	0.0048	—	—
192.168.1.116	53816	192.168.1.165	139	9	668	4	298	5	370	9.371454	0.0059	403 k	501 k
192.168.1.116	49276	192.168.1.165	27036	4	360	2	177	2	183	28.087276	0.2014	7031	7269

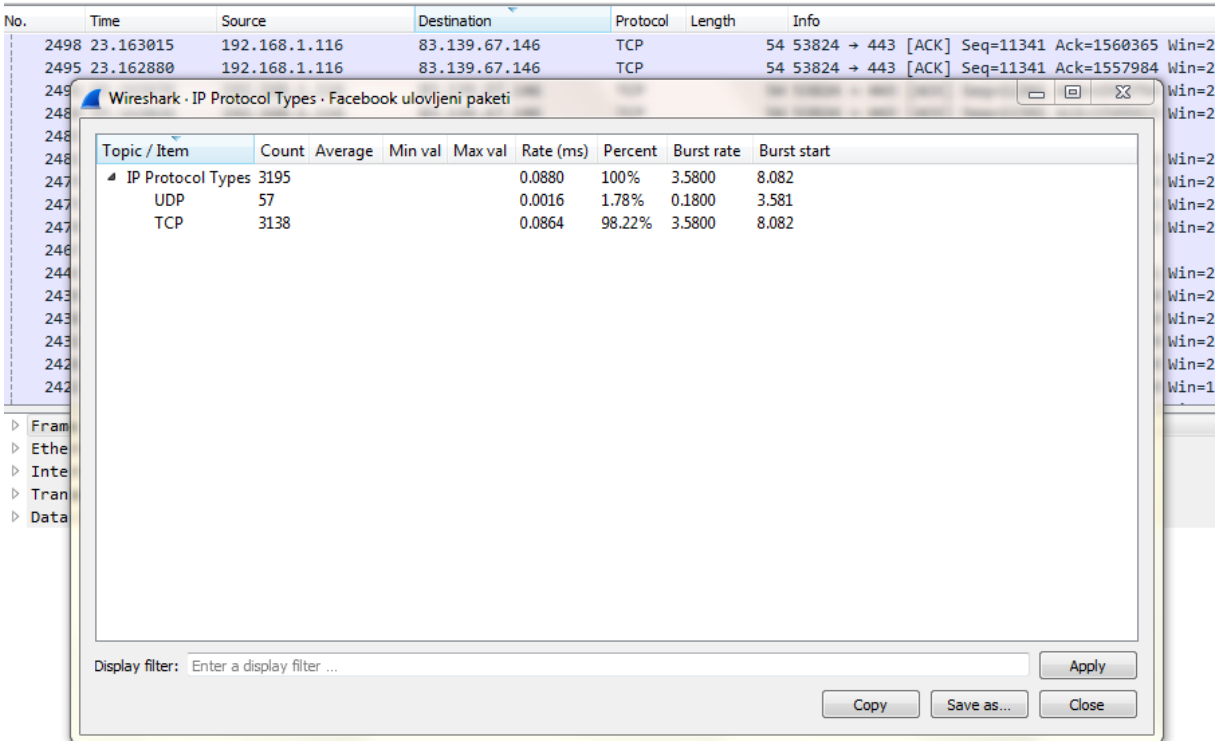
Slika 20. Prikaz komunikacije između klijenta i pošiljatelja (*Facebook*) po protokolima

Kao i kod *Youtube* aplikacije svaki podržani protokol tokom snimanja alatom *Wireshark* u prozoru je prikazan oznakom. Pogledom na sliku 20 može se primjetiti da oznaka TCP ima 17 krajnjih točaka naspram 16 UDP. Osim spomenute adrese ranije može se vidjeti da su jos neke adrese uhvaćene prilikom hvatanja *Wiresharkom* kao što su:

- 31.13.84.8,
- 83.139.67.145.

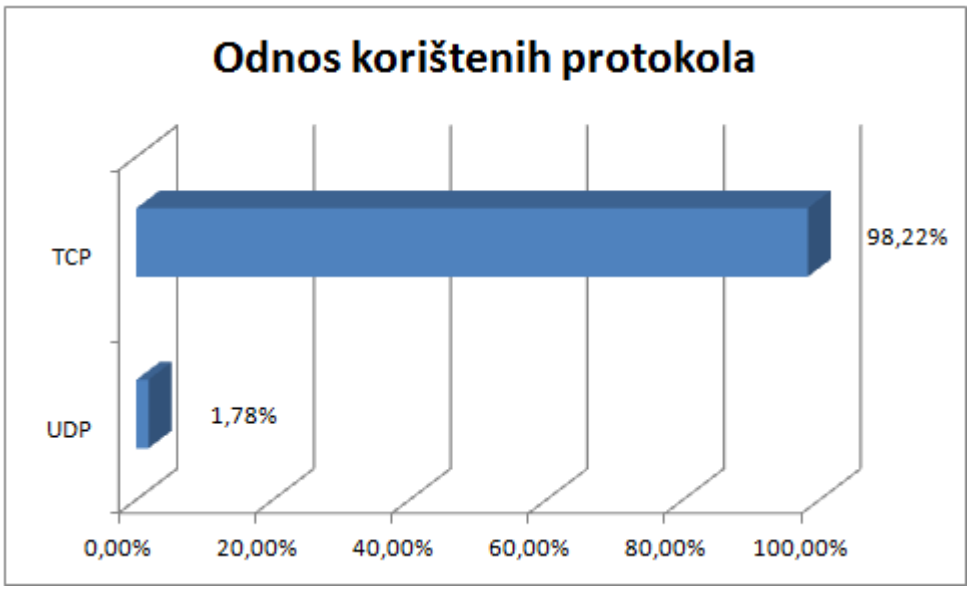
Iste pripadaju videosadržaju s *Facebook* aplikacije, međutim analiza će se raditi samo po IP adresi 83.139.67.146. Pogledom na sliku 20 može se primjetiti da birani videosadržaj ima najviše uhvaćenih paketa i to 2289, te da je preneseno s poslužitelja na klijenta 2200 kB (~2,1 MB), a s klijenta na poslužitelja 46 kB u trajanju od 25 sekundi. Na temelju toga je prosječna brzina prijenosa podataka s poslužitelja na klijenta 683 kbit/s, a s klijenta na poslužitelja 14 kbit/s.

Protokoli koji se koriste kroz cijeli period *streaming-a* videosadržaja na *Facebook* aplikaciji vide se na slici 21. Od ukupno 3195 paketa IP protokola broj paketa TCP iznosi 3138 odnosno 98,22%, dok UDP ima 57 odnosno 1,78%. Videosadržaj koji je bio gledan spada pod TCP vidljiv na slici 21.



Slika 21. Distribucija broja paketa ovisno o korištenim protokolima

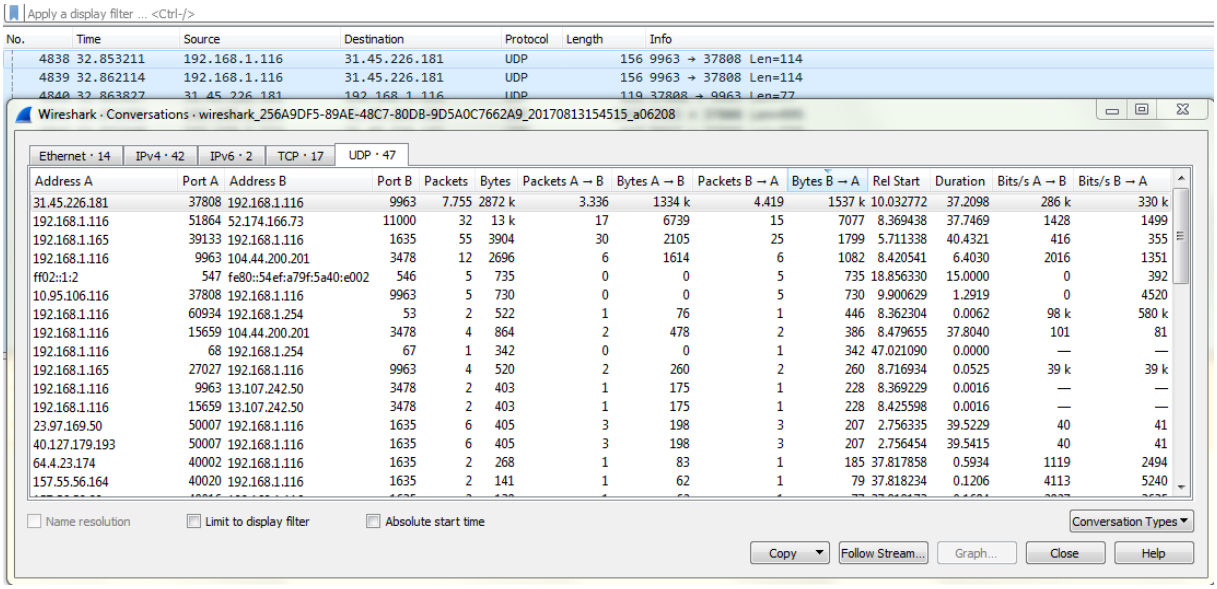
Radi jednostavnijeg prikaza korištenih protokola kroz *streaming* videosadržaja sa *Facebook* aplikacije napravio se prikaz odnosa korištenih protokola vidljiv na grafu 2.



Graf 2. Prikaz odnosa korištenih protokola (*Facebook*)

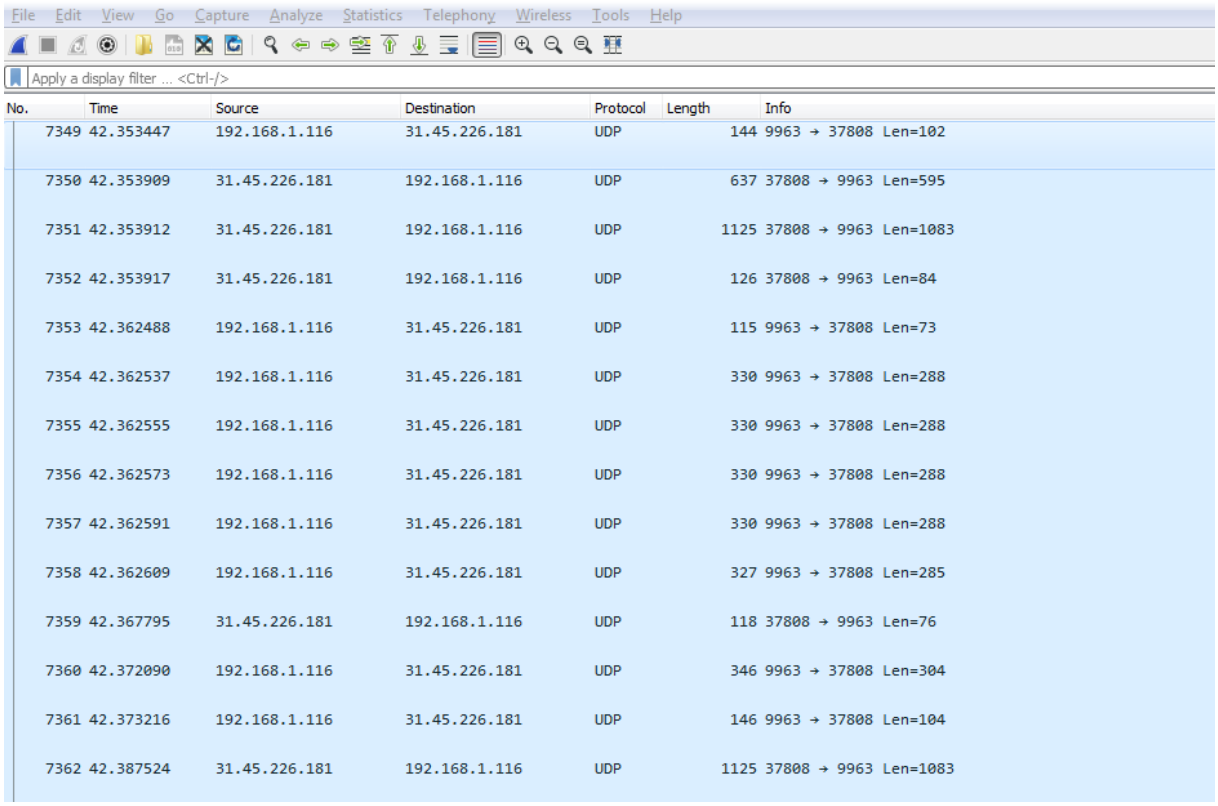
5.4.3. Analiza prometa videosadržaja aplikacije Skype

Kao i kod prijašnjih analiza pa tako i kod ove se prvo uključuje programski alat *Wireshark*, a zatim pristupa samoj aplikaciji *Skype*. Već samim uključivanjem aplikacije *Skype* može se primjetiti da je uhvaćen veliki broj podataka iako još nije ostvarena veza, međutim za hvatanje podataka od videosadržaja uživo potreban je videopoziv između dva korisnika. Uspostavio se videopoziv između korisnika koji koristi *Skype* preko mobilnog uređaja i korisnika na računalu.



Slika 22. Prikaz *Skype* komunikacije između klijenta (računalo) i pošiljatelja (mobilni uređaj) po protokolima

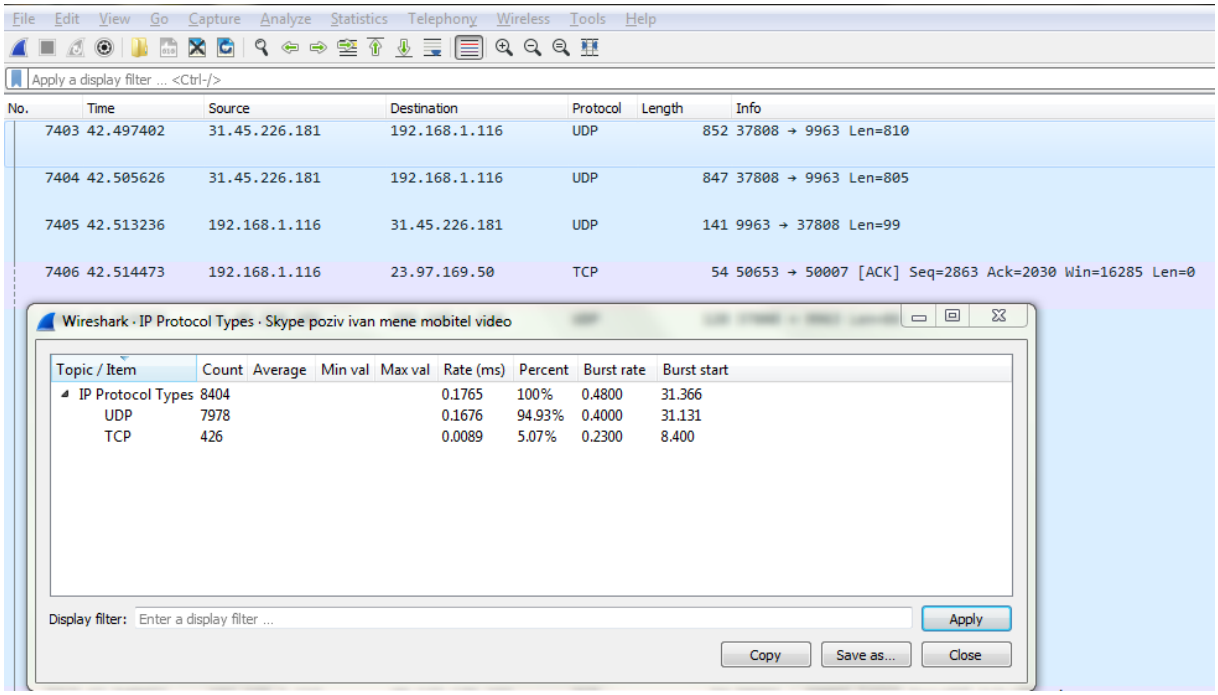
Slika 22 prikazuje da se najviše paketa poslalo između IP adresa 31.45.226.18 te 192.168.1.116. U ovom slučaju je IP adresa računala odredišna zbog toga jer se videopoziv započeo s mobilnog uređaja korisnika s IP adrese 31.45.226.18. Zbog velikog broja paketa koji su se prenijeli između dvije IP adrese (7755 paketa) se može zaključiti da je to komunikacija između dva korisnika koja koriste *Skype*. Videopoziv spada pod UDP. Kod videopoziva *Skype* funkcionira na principu dvosmjernog prijenosa, što znači da će izmjena podataka biti u oba smjera prikazano na slici 23.



Slika 23. Prikaz dvosmjerne komunikacije preko *Skype* aplikacije

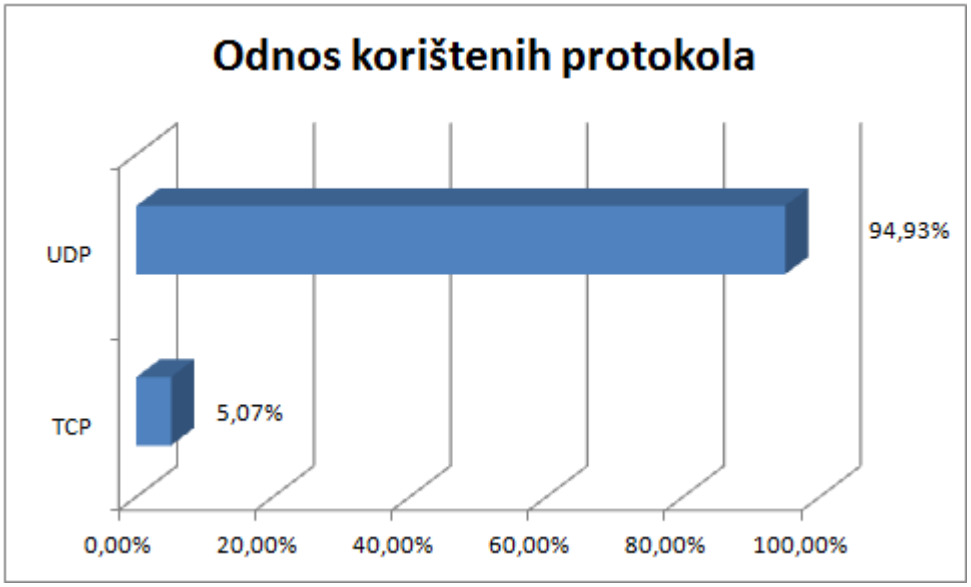
Na slici 22 se može vidjeti da je količina izmjenjenih podataka gotovo ista između adrese A→B (1334 kB), te adrese B←A (1537 kB) u trajanju od 37 sekundi. U prosjeku to iznosi 286 kbit/s od adrese A→B te 330 kbit/s od adrese B←A.

Na slici 24 može se vidjeti odnos korištenih protokola od početka hvatanja podataka pa sve do zaustavljanja. Ukupan broj paketa IP protokola iznosi 8404, od kojih 426 pripada TCP protokolu, a 7978 pripada UDP protokolu. Kako se već i spomenulo uspostava videopoziva preko aplikacije *Skype* se ostvarila preko UDP protokola.



Slika 24. Distribucija broja paketa ovisno o korištenim protokolima

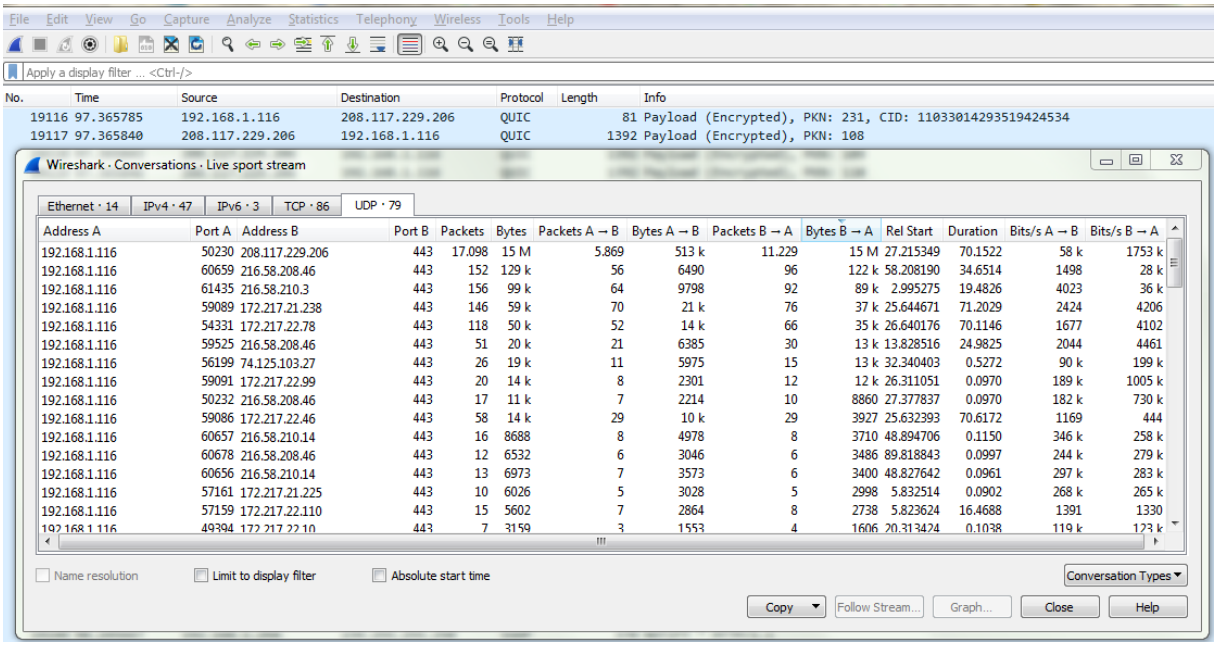
Analizom se može primjetiti da 94,93% pripada UDP-u, dok samo 5,07% pripada TCP-u. Grafički prikaz odnosa korištenih protokola je vidljiv na grafu 3.



Graf 3. Prikaz odnosa korištenih protokola (*Skype*)

5.4.4. Analiza prometa videosadržaja portala Live sport streams

Za analiziranje kao i sa svakim videosadržajem do sada potrebno je prvo uključiti *Wireshark* kako bi se hvatali podaci. Nakon toga se pristupa Internet stranici www.livetv.sx/enx/ i bira sportski sadržaj. Tokom *streaming-a* sportskog sadržaja uživo prate se prikupljeni podaci.



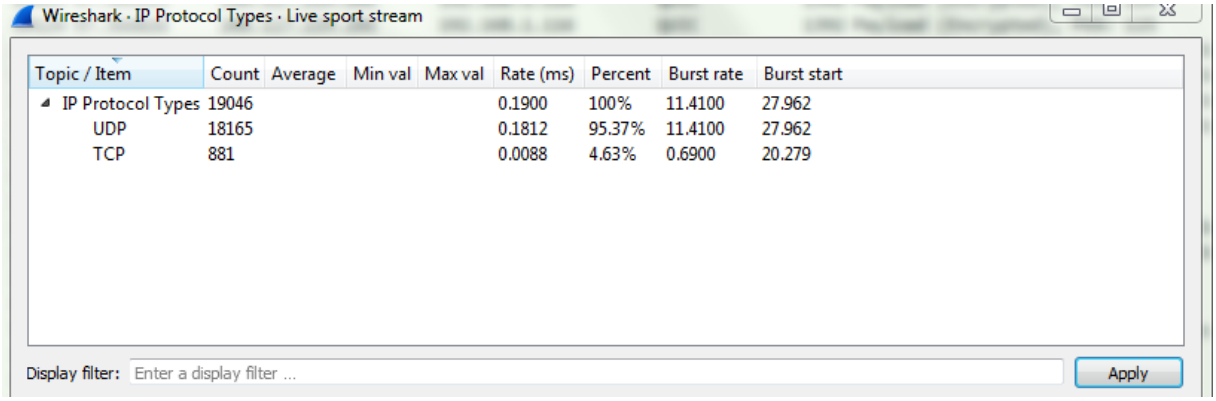
Slika 25. Prikaz komunikacije između klijenta i pošiljatelja (*Live Sport Streams*) po protokolima

Slika 25 predstavlja komunikaciju između klijenta i pošiljatelja po protokolima. Može se vidjeti da je najviše izmjenjenih paketa (17098) između IP adrese računala (192.168.1.116) te IP adrese sportskog sadržaja (208.117.229.206). Prijenos paketa između spomenutih adresa se odvija preko UDP protokola.

Količina izmijenjenih podataka između klijenta i pošiljatelja je 15,5 MB, a prijenos podataka samo od pošiljatelja do klijenta iznosi 15 MB. Prikazom navedenih podataka na slici 25 može se zaključiti da se radi o *streaming-u* videosadržaja uživo. Na temelju toga prosječni prijenos podataka iznosi 1753 kbit/s, s obzirom da se pratio videosadržaj uživo 70 sekundi. Osim navedene adrese na temelju koje se radila analiza videosadržaja još su neke adrese uhvaćene prilikom korištenja alata *Wireshark*:

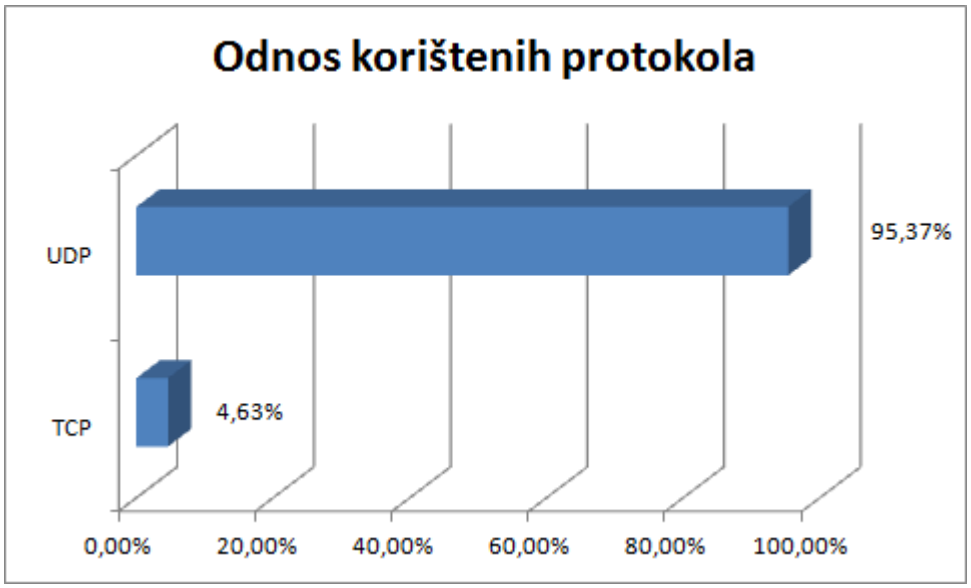
- 216.58.208.46,
- 172.217.21.238.

Korišteni protokoli kod *streaming-a* videosadržaja uživo su prikazani na slici 26. Od ukupno 19046 paketa IP protokola 881 pripada TCP protokolu, dok 18165 pripada UDP protokolu.



Slika 26. Distribucija broja paketa ovisno o korištenim protokolima

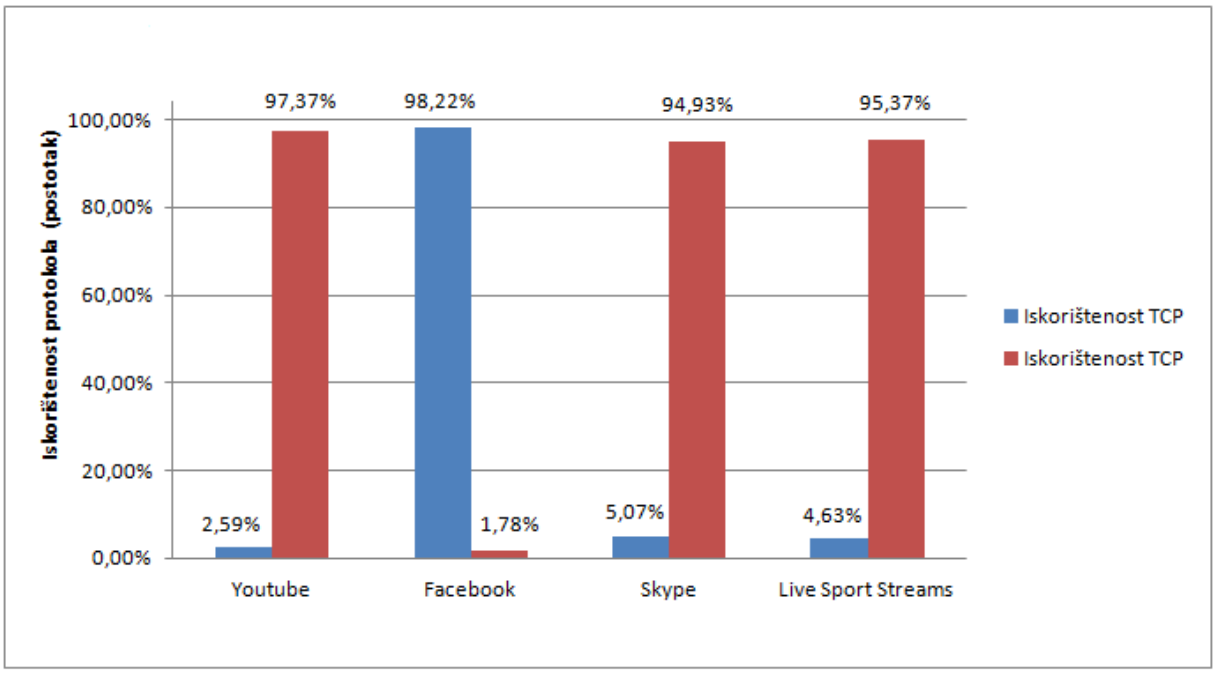
Na grafu 4 se vidi odnos korištenih protokola gdje 95,37% od ukupnog broja paketa IP protokola pripada UDP protokolu, a 4,63% TCP protokolu. To je vidljivo na grafu 4.



Graf 4. Prikaz odnosa korištenih protokola (*Live Sport Streams*)

5.4.5. Komparativna analiza

Potrebno je napomenuti da su svi sadržaji bili nasumično odabrani, različitog trajanja, kvalitete i količine prenesenih paketa. Međutim usporkos tome moguće je usporediti omjere udjela TCP i UDP paketa.



Graf 5. Udio TCP i UDP paketa

Ako TCP izgubi previše paketa gubi se konekcija, dok UDP daje mnogo više kontrole aplikaciji s obzirom da ga ne brinu gubici mrežnog prometa. Zbog toga je UDP primarni protokol za *live streaming* što se vidi u udjelu paketa kod *Skype* aplikacije i *Live Sport Streams* portala. TCP je u drugu ruku prikladniji za reprodukciju videosadržaja na zahtjev jer osigurava pouzdan prijenos, mehanizam za kontrolu zagušenja mreže te ponovni prijenos izgubljenih paketa što dovodi do kašnjenja. *Facebook* koristi TCP protokol, odnosno metodu HTTP adaptivnog strujanja koja osigurava variranjem kvalitete videa smanjenje propadanja kvalitete korisnika (smanjenje nestabilnosti) i kvalitete usluge (smanjenje kašnjenja u redu čekanja i smanjenjem gubitka paketa). Nadalje, UDP konekciji je teže zaobići *firewall* za razliku od TCP koji to puno lakše zaobiđe. Na grafu 5 se isto tako može vidjeti da *streaming* videosadržaja s *YouTube-a* koristi UDP protokol. Pobliže on koristi QUIC, a on je protokol razvijen od strane Google-a koji preko UDP-a osigurava preformanse jednake TCP-u što se tiče smanjenja vremena uspostave konekcije, kašnjenja, te procjenu propusnosti u svakom smjeru kako bi se izbjeglo zagušenje.

6. Distribucija veličine paketa prilikom prijenosa videosadržaja

U ovom poglavlju analizira se distribucija veličina paketa za već promatrane videosadržaje. Analizirani videosadržaji za koje se radila analiza prikupljenih podataka prikazani su u poglavlju 5. Osim analize opisana su opažanja i napravila se komparativna analiza svih korištenih videosadržaja.

6.1. Distribucija veličine paketa videosadržaja aplikacije *YouTube*

Kako bi se analizirala distribucija veličine paketa videosadržaja s *YouTube* aplikacije potrebno je ponovno pristupiti *Wiresharku* i prikupljenim podacima. Nakon što se otvore prikupljeni podaci može se izabrati *Capture File Properties* gdje se vide svi uhvaćeni paketi, prikazani paketi te količina prijenosa podataka. Slika 27 prikazuje statistiku ukupno uhvaćenih paketa kroz cijelo praćenje alatom *Wireshark*.

Details

File

Name:	C:\Users\Ivan\Desktop\Youtube ulovljeni paketi.pcapng
Length:	12 MB
Format:	Wireshark/... - pcapng
Encapsulation:	Ethernet

Time

First packet:	2017-08-10 21:56:07
Last packet:	2017-08-10 21:58:57
Elapsed:	00:02:49

Capture

Hardware:	Unknown
OS:	64-bit Windows 7 Service Pack 1, build 7601
Application:	Dumpcap (Wireshark) 2.2.7 (v2.2.7-0-g1861a96)

Interfaces

Interface	Dropped packets	Capture filter	Link type	Packet size limit
\Device\NPF_{256A9DF5-89AE-48C7-80DB-9D5A0C7662A9}	Unknown	none	Ethernet	262144 bytes

Statistics

Measurement	Captured	Displayed	Marked
Packets	13985	13985 (100.0%)	N/A
Time span, s	169.750	169.750	N/A
Average pps	82.4	82.4	N/A
Average packet size, B	845.5	845.5	N/A
Bytes	11826783	11826783 (100.0%)	0
Average bytes/s	69 k	69 k	N/A
Average bits/s	557 k	557 k	N/A

Slika 27. Statistika ukupnih uhvaćenih podataka

Kako se analizira samo distribucija paketa prilikom prijenosa videosadržaja, moraju se uhvaćeni paketi filtrirati, odnosno suziti izbor samo na pakete uhvaćene prilikom *streaming-a* videosadržaja. Nakon filtriranja uhvaćenih paketa po IP adresi pošiljatelja (83.139.67.76) opet se pristupa statistici uhvaćenih paketa prikazano slikom 28.

Statistics

Measurement	Captured	Displayed	Marked
Packets	13985	6616 (47.3%)	N/A
Time span, s	169.750	121.596	N/A
Average pps	82.4	54.4	N/A
Average packet size, B	845.5	1377.5	N/A
Bytes	11826783	9114239 (77.1%)	0
Average bytes/s	69 k	74 k	N/A
Average bits/s	557 k	599 k	N/A

Slika 28. Statistika uhvaćenih podataka *stream-anog* videosadržaja sa *YouTube portala*

Na slici 28 se može vidjeti da je u vremenskom periodu od 121,596 sekunde prenešeno 6616 paketa s poslužitelja na klijenta, što znači da je to 47,3% od ukupno uhvaćenih paketa tokom hvatanja *Wiresharkom*. Prosjek uhvaćenih paketa iznosi 54,4 paketa po sekundi. Osim statistike uhvaćenih podataka *Wireshark* nudi i pogled veličine paketa. Na slici 29 se može vidjeti koje veličine paketa su se najviše koristile kao i njihov prosjek ovisno o količini uhvaćenih paketa.

Wireshark · Packet Lengths · Youtube ulovljeni paketi

Topic / Item	Count	Average	Min val	Max val	Rate (ms)	Percent	Burst rate	Burst start
Packet Lengths	10271	919.81	72	1392	0.0844	100%	11.3500	74.215
0-19	0	-	-	-	0.0000	0.00%	-	-
20-39	0	-	-	-	0.0000	0.00%	-	-
40-79	6	75.33	72	78	0.0000	0.06%	0.0300	46.183
80-159	3659	87.70	80	134	0.0301	35.62%	4.3400	74.215
160-319	12	246.83	194	308	0.0001	0.12%	0.0300	74.209
320-639	38	558.71	332	633	0.0003	0.37%	0.0500	46.354
640-1279	46	919.70	664	1257	0.0004	0.45%	0.0700	106.386
1280-2559	6510	1391.64	1282	1392	0.0535	63.38%	6.9600	74.215
2560-5119	0	-	-	-	0.0000	0.00%	-	-
5120 and greater	0	-	-	-	0.0000	0.00%	-	-

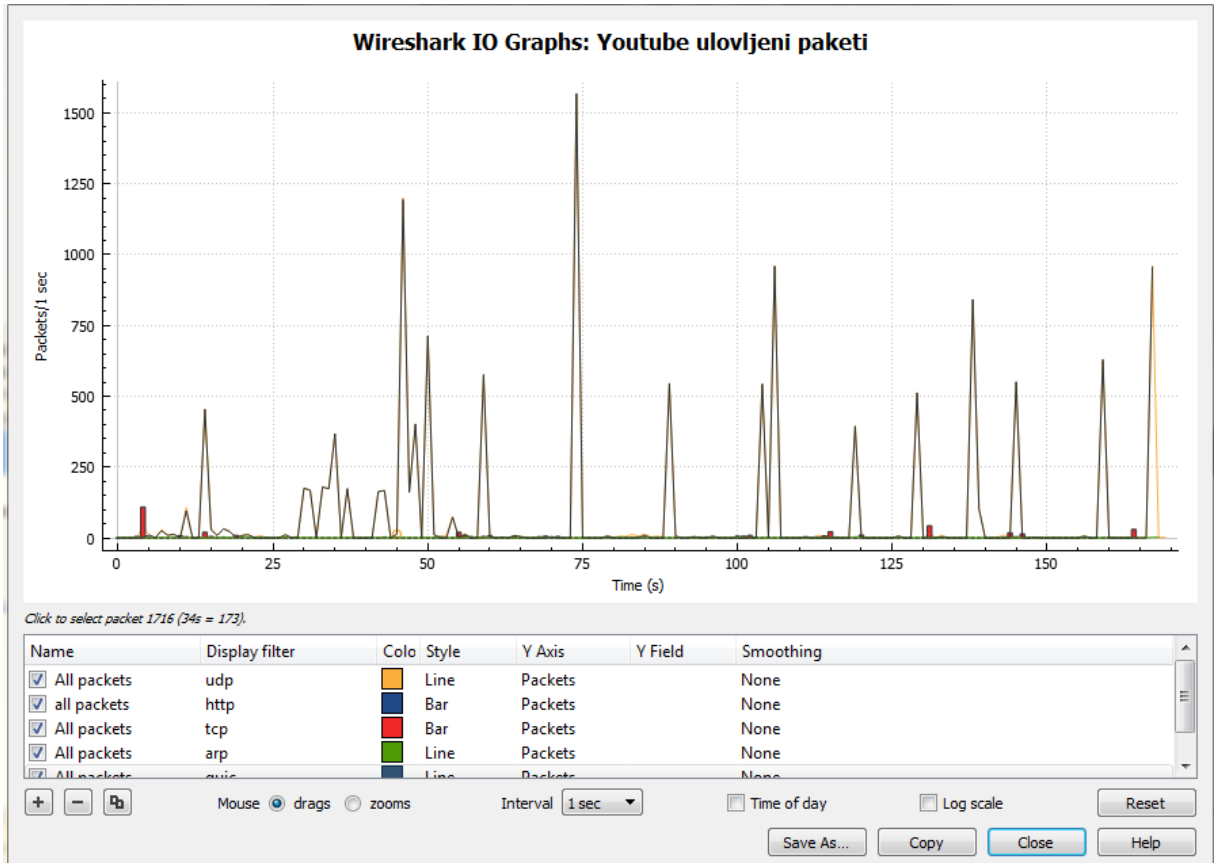
Display filter: ip.addr == 83.139.67.76 Apply

Copy Save as... Close

Slika 29. Prikaz veličine paketa videosadržaja sa *YouTube* portala

Može se primjetiti da je puno više paketa nego što je pronađeno filtriranjem po IP adresi poslužitelja. To je zbog toga jer klijent i pošiljatelj komuniciraju te postoji obostrano slanje paketa. S klijenta na poslužitelja je prenešeno 3655 paketa. Može se primjetiti da je najviše paketa veličine od 1280-2559 (63,38%), pa od 80-159 (35,62%) te ostali prikazani na slici 29.

Kako bi se lakše prezentiralo hvatanje paketa koristi se I/O graf gdje se vidi trajanje hvatanja paketa, kao i ukupna količina uhvaćenih paketa. To je prikazano slikom 30.



Slika 30. I/O graf (*YouTube)*

Na grafu se može vidjeti maksimalni broj paketa poslanih po jedinici vremena. Interval je stavljen na 1 sekundu gdje se može vidjeti da je najviše paketa poslano u 74 sekundi. Kada se *buffer* napunio od pristiglih paketa (*burst*) i ispraznio, stiže novi *burst-ovi* paketa i tako do kraja stopiranja videosadržaja.

6.2. Distribucija veličine paketa videosadržaja aplikacije *Facebook*

Kao i kod primjera videosadržaja s *Youtube* portala, tako i kod *Facebook* aplikacije koristili su se već prikupljeni podaci. Kako bi se odredilo koliko je paketa uhvaćeno prilikom prijenosa potrebno je filtrirati uhvaćene pakete samo na one koji su stigli sa IP adrese biranog videosadržaja *Facebook* aplikacije. To znači da se filtriraju po IP adresi 83.139.67.146. Nakon odabira IP adrese videosadržaja sa *Facebook* aplikacije pristupa se statistici uhvaćenih podataka prikazano na slici 31.

Measurement	Captured	Displayed	Marked
Packets	3225	1677 (52.0%)	N/A
Time span, s	36.325	26.790	N/A
Average pps	88.8	62.6	N/A
Average packet size, B	876.5	1314.5	N/A
Bytes	2826033	2204955 (78.0%)	0
Average bytes/s	77 k	82 k	N/A
Average bits/s	622 k	658 k	N/A

Slika 31. Statistika uhvaćenih podataka sa *Facebook aplikacije*

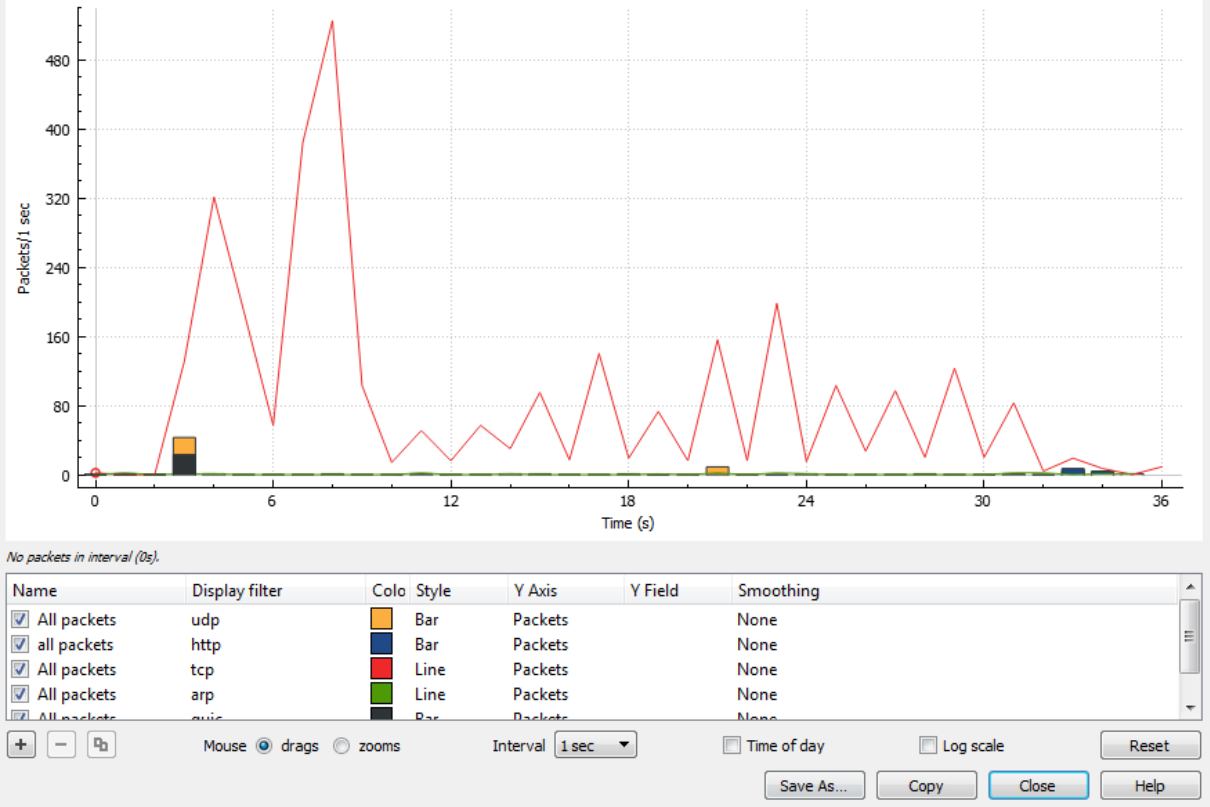
Po statistici uhvaćenih podataka može se vidjeti da je prema klijentu poslano 1677 paketa odnosno 52% od ukupnog hvatanja. U prosjeku je to 62,6 paketa u sekundi. Prosječna veličina duljine paketa jest 1314,5 B. Kao i kod videosadržaja na *Youtube* portalu najviše su se koristili paketi duljine od 1280-2559 (61,66%), pa od 40-79 (25,53%) te ostali prikazani na slici 32.

Topic / Item	Count	Average	Min val	Max val	Rate (ms)	Percent	Burst rate	Burst start
Packet Lengths	2311	975.01	54	1464	0.0856	100%	3.5700	8.082
0-19	0	-	-	-	0.0000	0.00%	-	-
20-39	0	-	-	-	0.0000	0.00%	-	-
40-79	590	54.53	54	79	0.0219	25.53%	0.8900	8.083
80-159	68	99.16	84	139	0.0025	2.94%	0.1400	8.083
160-319	114	216.36	165	318	0.0042	4.93%	0.1800	8.082
320-639	21	498.43	320	637	0.0008	0.91%	0.0500	8.130
640-1279	93	1025.87	672	1279	0.0034	4.02%	0.1800	8.084
1280-2559	1425	1462.31	1286	1464	0.0528	61.66%	2.1300	8.083
2560-5119	0	-	-	-	0.0000	0.00%	-	-
5120 and greater	0	-	-	-	0.0000	0.00%	-	-

Display filter: ip.addr == 83.139.67.146 Apply

Slika 32. Prikaz veličine paketa videosadržaja sa *Facebook* aplikacije

Pomoću I/O grafa će se prezentirati broj paketa u jedinici vremena, gdje y os predstavlja količinu paketa, a x os vrijeme trajanja. Može se primjetiti da uhvaćeni paketi pripadaju najviše TCP protokolu. Na grafu se može primjetiti *burst* paketa prilikom pristupa samoj Facebook aplikaciji, a najveći *burst* se dogodio kad se pristupilo promatranju videosadržaja u osmoj sekundi. Poslije toga su dolazili *burstovi* dok se nije prekinuo videosadržaj. Graf I/O je prikazan slikom 33.



Slika 33. I/O graf (*Facebook)*

6.3. Distribucija veličine paketa videosadržaja aplikacije *Skype*

Kako bi došli do uhvaćenih podataka između dva korisnika koji su komunicirali *Skype-om* pristupamo *Wiresharku* i bira se dokument vezan za videopoziv između dva korisnika. Nakon toga se ponovno filtriraju svi uhvaćeni paketi po IP adresi. Filtrira se po IP adresi 31.45.226.181. Filtriranjem se uspio suziti odabir uhvaćenih paketa na uhvaćene pakete prilikom videopoziva između dva korisnika, te se u statistici uhvaćenih paketa može vidjeti koliko je paketa uhvaćeno prilikom videopoziva. To je prikazano slikom 34.

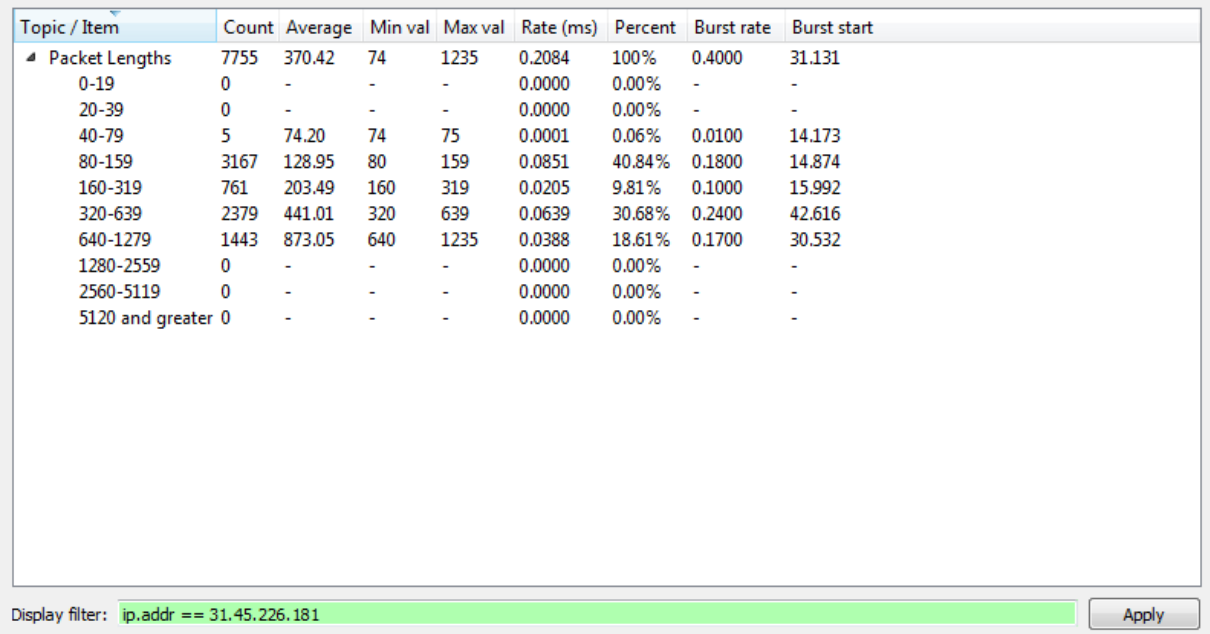
Statistics

Measurement	Captured	Displayed	Marked
Packets	8481	3336 (39.3%)	N/A
Time span, s	47.615	37.149	N/A
Average pps	178.1	89.8	N/A
Average packet size, B	356.5	400.5	N/A
Bytes	3025593	1334865 (44.1%)	0
Average bytes/s	63 k	35 k	N/A
Average bits/s	508 k	287 k	N/A

Slika 34. Statistika uhvaćenih podataka sa *Skype aplikacije*

Na slici 34 se može vidjeti da je od ukupne količine uhvaćenih paketa koja iznosi 8481 paketa, u trajanju videopoziva na *Skype* aplikacije između dva korisnika uhvaćeno 3336

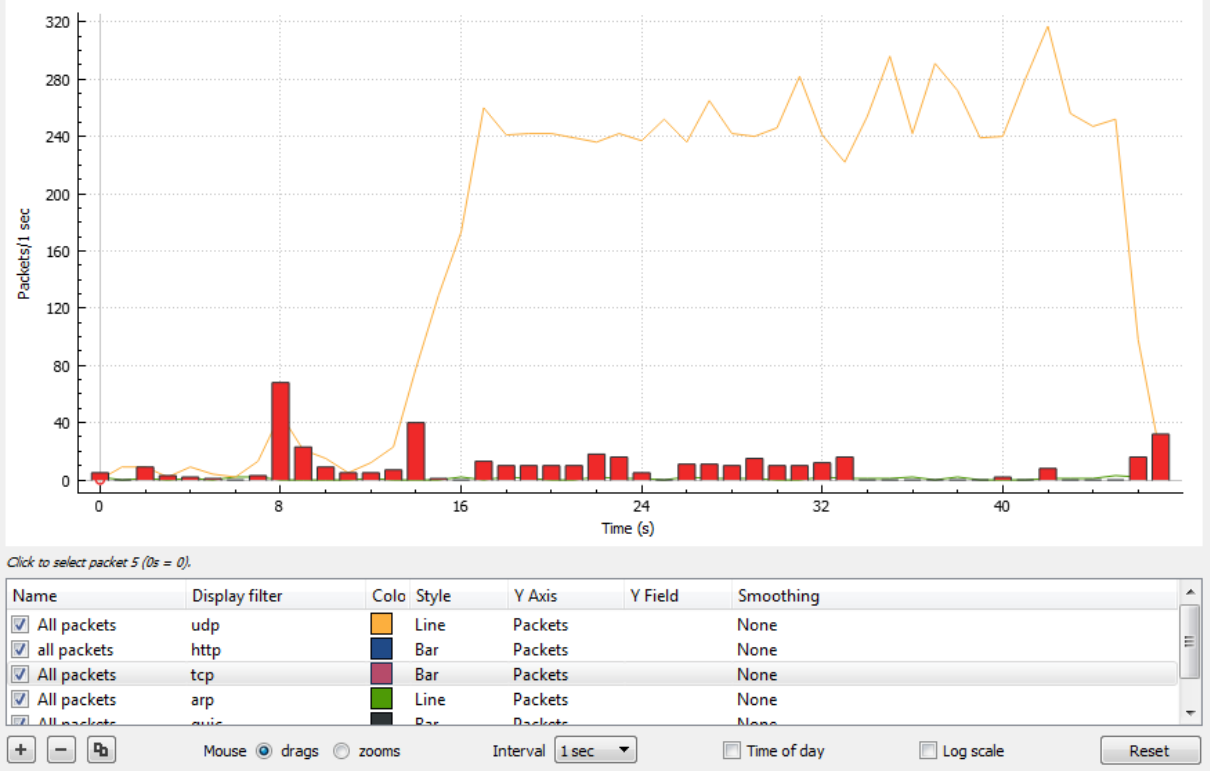
paketa (39,3%) u jednom smjeru, što je u prosjeku 89,8 paketa u sekundi. Kod duljina paketa se može primjetiti da su relativno male zbog UDP-a. Najviše je paketa s duljinom od 80-159 (40,84%) , zatim od 320-639 (30,68%), te ostali prikazani slikom 35.



Topic / Item	Count	Average	Min val	Max val	Rate (ms)	Percent	Burst rate	Burst start
Packet Lengths	7755	370.42	74	1235	0.2084	100%	0.4000	31.131
0-19	0	-	-	-	0.0000	0.00%	-	-
20-39	0	-	-	-	0.0000	0.00%	-	-
40-79	5	74.20	74	75	0.0001	0.06%	0.0100	14.173
80-159	3167	128.95	80	159	0.0851	40.84%	0.1800	14.874
160-319	761	203.49	160	319	0.0205	9.81%	0.1000	15.992
320-639	2379	441.01	320	639	0.0639	30.68%	0.2400	42.616
640-1279	1443	873.05	640	1235	0.0388	18.61%	0.1700	30.532
1280-2559	0	-	-	-	0.0000	0.00%	-	-
2560-5119	0	-	-	-	0.0000	0.00%	-	-
5120 and greater	0	-	-	-	0.0000	0.00%	-	-

Slika 35. Prikaz veličine paketa videopoziva sa *Skype* aplikacije

Kako bi se prikazali korišteni protokoli po distribuciji paketa u jedinici vremena koristio se kao i u slučajevima videosadržaja na zahtjev graf I/O. Na početku grafa se može primjetiti da je do uspostave videopoziva jako malo uhvaćeno paketa ali nakon što se uspostavio poziv vidi se velika količina prenešenih paketa. I/O graf prikazuje ukupan broj paketa (poslanih i primljenih) koji se može vidjeti slikom 36.



Slika 36. I/O graf (*Skype*)

6.4. Distribucija veličine paketa videosadržaja portala *Live Sport Streams*

Kao i kod ostalih primjera potrebno je prvo otvoriti pohranjenu datoteku u *Wiresharku* sa ulovljenim podacima korištenjem biranog sportskog videosadržaja uživo. Nakon prikaza uhvaćenih podatak kojih je poprilično puno suzuje se izbor na samo uhvaćene podatke koji su stigli sa *streaming-a* sportskog događaja uživo. To se ostvaruje na način da se filtriraju uhvaćeni podaci na samo IP adresu poslužitelja sportskog videosadržaja. IP adresa sportskog videosadržaja je 208.117.229.206. Nakon što se suzio izbor uhvaćenih podataka pristupamo statistici uhvaćenih podataka, koja prikazuje ukupno uhvaćene podatke s jedne strane te uhvaćene podatke s IP adrese 208.117.229.206 s druge strane. To je prikazano slikom 37.

Statistics

Measurement	Captured	Displayed	Marked
Packets	19147	11229 (58.6%)	N/A
Time span, s	100.281	70.147	N/A
Average pps	190.9	160.1	N/A
Average packet size, B	873.5	1369.5	N/A
Bytes	16725689	15377921 (91.9%)	0
Average bytes/s	166 k	219 k	N/A
Average bits/s	1334 k	1753 k	N/A

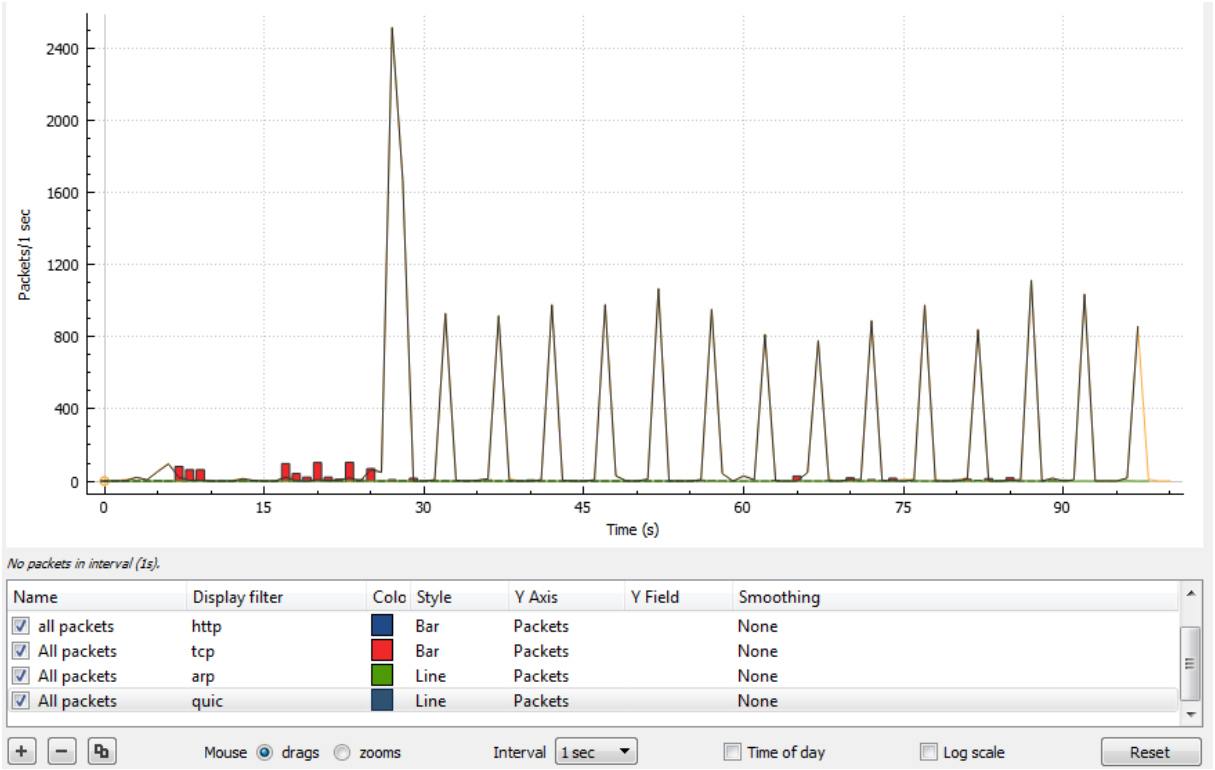
Slika 37. Statistika uhvaćenih podataka sa *Live Sport Streams* portala

Na slici 37 se može vidjeti da je od ukupnih 19147 paketa, poslano prema klijentu 11229 paketa što je 58,6% ukupne količine prikupljenih paketa. U prosjeku iznosi 160,1 paket po sekundi. Kako je postojala komunikacija između IP adresa, klijent je poslao duplo manje paketa od poslužitelja (5869 paketa). Protokol koji je korišten za ovakvu vrstu *streaming-a* jest UDP, pobliže QUIC i slikom 38 je prikazan broj uhvaćenih paketa po njihovoj duljini.

Topic / Item	Count	Average	Min val	Max val	Rate (ms)	Percent	Burst rate	Burst start
◢ Packet Lengths	17098	929.40	62	1392	0.2437	100%	11.4100	27.962
0-19	0	-	-	-	0.0000	0.00%	-	-
20-39	0	-	-	-	0.0000	0.00%	-	-
40-79	14	73.71	62	78	0.0002	0.08%	0.0300	27.232
80-159	5859	83.73	80	132	0.0835	34.27%	4.2700	27.963
160-319	10	251.80	210	285	0.0001	0.06%	0.0200	47.328
320-639	211	526.02	323	638	0.0030	1.23%	0.4400	27.733
640-1279	71	957.70	641	1278	0.0010	0.42%	0.0800	52.330
1280-2559	10933	1391.92	1280	1392	0.1558	63.94%	7.0000	27.962
2560-5119	0	-	-	-	0.0000	0.00%	-	-
5120 and greater	0	-	-	-	0.0000	0.00%	-	-

Slika 38. Prikaz veličine paketa videosadržaja sa portala *Live Sport Streams*

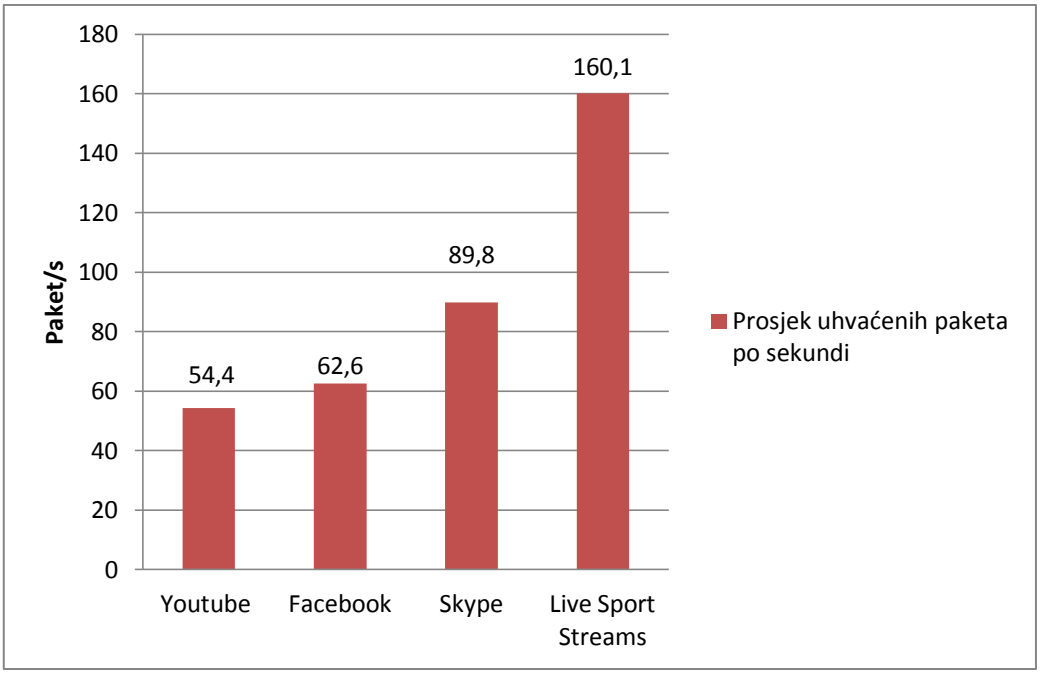
Može se vidjeti da je najveći broj paketa duljina 1280-2559 (63,94%), zatim 80-159 (34,27%) te ostali. Osim prikaza veličine paketa, aplikacija *Wireshark* omogućuje jednostavniji prikaz korištenih protokola po distribuciji paketa u jedinici vremena. To je prikazano grafom O/I. Graf je prikazan slikom 39 te se može primjetiti da je najviše uhvaćenih paketa korištenog protokola UDP, odnosno QUIC koji je napredna verzija UDP-a. Na grafu se može vidjeti da su paketi stizali u *burst-u* dok se ne napuni *buffer* na računalu, te nakon što se *buffer* isprazni stiže novi burst i tako do kraja ili prekidanja promatranog videosadržaja.



Slika 39. I/O graf (*Live Sports Streams*)

6.5. Komparativna analiza

Analizom prometa videosadržaja s aplikacija *Youtube*, *Facebook*, *Skype* i *Live Sport Streams* došlo se do zaključka da videosadržaj ima puno veću količinu paketa i prijenosa podataka naspram zvuka, slike ili druge signalizacije sadržaja poruke. Količina uhvaćenih paketa će ovisiti ne samo o vrsti aplikacije koja se koristila već i o vremenu trajanja videosadržaja te kvaliteti videosadržaja. Kako su svi analizirani videosadržaji bili nasumično odabrani, izračunavao se prosjek prikupljenih paketa kako bi se lakše usporedili i napravilo se opažanje. Na grafu 6 se može vidjeti prosjek uhvaćenih paketa po korištenoj aplikaciji.



Graf 6. Prosjek uhvaćenih paketa po sekundi

Kako bi se dobili navedeni podaci prvo je bilo potrebno uhvatiti pakete sa videosadržaja navedenih aplikacija. To se napravilo na način da se za svaku aplikaciju izračunao ukupni broj uhvaćenih paketa od *stream-anog* videosadržaja te podijelio s vremenom trajanja videosadržaja, u slučaju *Skype-a* videopoziva. Nakon toga se dobije prosječan broj paketa po sekundi prikazan grafom 6. Graf prikazuje da se najviše paketa zapravo prenijelo *stream-anjem* videosadržaja uživo, dok se manje paketa prenijelo *stream-anjem* videosadržaja na zahtjev. Analizom se pokazalo da količina prijenosa podataka s poslužitelja na klijenta i obrnuto ovisi o kvaliteti videosadržaja koji se promatra, brzini mreže te zagušenju same mreže. QoS podrazumijeva garantiranu brzinu na zahtjev, ali s time i malo kašnjenje s kraja na kraj veze, te malu varijaciju kašnjenja i gubitke paketa. Međutim, u suvremenim mrežama postoje slučajevi kada nije moguće postići garantirani QoS i u takvim okolnostima se koriste adaptivni mehanizmi. Bitske pogreške (engl. *Bit errors*) i gubitak paketa (engl. *Packet loss*) uveliko utječu na količinu prenesenih paketa. Bitske pogreške predstavljaju proces gubitka podataka koje jako ovise o samoj aplikaciji i tipu mreže, te o prijenosnim protokolima. Nastaju zbog slabe interpretacije prenesenih podataka u digitalnim prijemnicima i to zbog šuma tijekom prijenosa. Gubitak paketa je teško predvidjeti a tu spada zauzetost mreže, promjene kašnjenja, pravila rutiranja te veličine odvajačke memorije (buffer). Može se primjetiti kod rekonstrukcije videosadržaja, tako da se uvijek nastoji smanjiti.

7. Zaključak

Zbog sve veće potražnje za uslugama za prijenos govora, podatkovnih aplikacija, pokretne i nepokretne slike te multimedijske usluge došlo je do velikog rasta prijenosnog kapaciteta. Jedna od popularnijih i najčešće korištenih usluga koja generira promet je prijenos videosadržaja, bilo to uživo ili na zahtjev. Popularnosti ove usluge svakako je pridonio i rastući broj videoportala koji objavljuju različite sadržaje, često bez ikakvih naknada. Prijenos videosadržaja strujanjem podrazumijeva njegovo izravno pokazivanje, bez potrebe da se cijeli sadržaj najprije prenese na korisnikov uređaj. Iz ovoga slijedi da niz mrežnih parametara utječe na kvalitetu samog prikaza sadržaja, primjerice, prijenosna širina, veličina kašnjenja, gubitak paketa, varijacija kašnjenja, distribucija duljine paketa i slično. Stoga je u interesu bilo analizirati karakteristike prometnog toka prilikom prijenosa različitih videosadržaja.

Analizom se pokazalo da na osnovi prioriteta današnje aplikacije zahtjevaju višu kvalitetu prilikom prijenosa videosadržaja Internetom i višu podršku prijenosa videosignala. Količina prijenosa paketa između klijenta i poslužitelja ovisi o mnogo faktora kao što su zauzetost mreže, kašnjenju, količini privremenog spremnika, tipu mreže, samoj aplikaciji te o prijenosnim protokolima. Modernizacijom aplikacija i zahtjeva za što boljom kvalitetom videosadržaja dovelo je do razvoja novih protokola (QUIC i adaptivni HTTP) koji su poboljšali preformanse postojećih (UDP i TCP).

Programski alat koji se koristio za analizu mrežnog prometa i rješavanje mrežnih problema te razvoj mrežnih protokola je *Wireshark*. Ovaj program hvata podatke koji u paketima putuju mrežom i prikazuje ih na najdetaljniji mogući način. Prikupljeni podaci za analizu dobiveni su istraživanjem videosadržaja aplikacija *Facebook, YouTube, Skype* i *Live Sport Streams.*

U ovom diplomskom radu provodila se detaljna analiza prometnih tokova prilikom strujanja videosadržaja različitih karakteristika i time ukazana distribucija duljine paketa i distribucija broja paketa, kao i prikaz korištenih protokola za prijenos istih. Napravila se analiza korištenih protokola (TCP, UDP i QUIC) s dobivenim rezultatima koji su povezani sa rezultatima o distribuciji paketa.

Literatura

1. Bažant, A., Gledec, G., Ilić, Ž., Ježić, G., Kos, M., Konštić, M., Lovrek, I., Matijašević, M., Mikac B., Sinković, V.: Osnovne arhitekture mreža, Element, Zagreb, 2004.
2. Bošnjak, I.: Tehnologija telekomunikacijskog prometa II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2000.
3. Bošnjak, I.: Telekomunikacijski promet I, FPZ, Zagreb, 2001.
4. Chappell L.,Combs G., *Wireshark 101: Essential Skills for Network Analysis, 2013.*
5. Ježića, G.: Predavanja iz kolegija Tržište pokretnih telekomunikacija, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2011.
6. Kartvelishvili, M., Kartvelishvili, O.: *QoS and Packet Queueing Strategies in Multiservice Heterogenous TCP/IP Networks*, *Publishing House '09*, Technical University, Tibilisi, 2009.
7. Kavran, Z.: Predavanja iz kolegija Planiranje telekomunikacijskih mreža, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.
8. Kavran, Z.: Predavanja iz kolegija *Računalne mreže*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.
9. Lovrek, I.: Predavanja iz kolegija Telekomunikacijska tehnologija i specifičnosti telekomunikacijskog tržišta, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2013.
10. Matulin, M.: Procjena iskustvene kvalitete usluge prijenosa videosadržaja strujanjem, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2014.
11. Mrvelj, Š.: Predavanja iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa II Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.
12. Mrvelj, Š.: Predavanja iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa I Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010.
13. Mrvelj, Š.: Predavanja iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa I Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009.
14. Popović, Ž.: Četvrta generacija IP mreža, Ericsson Nikola Tesla, Zagreb, revija br.1, 2011.
15. Rihtarec, T.: Televizija utemeljena na internetskom protokolu, *IPTV*, Ericsson Nikola Tesla, Zagreb, revija, 2008.

16. Rodriguez A., Gatrell J., Karas J., Peschke R.: *TCP/IP Tutorial and Technical Overview*, IBM *Corporation*, *International Technical Support Organization*, New York, *August* 2001.
17. Schulzrinne, H.: *Real Time Streaming Protocol*, RFC 2326 1998.
18. Stockhammer, T., H. Jenkac, G. Kuhn: *Streaming Video Over Variable Bit-Rate Wireless Channels, IEEE transactions on multimedia*, Vol. 6, no. 2, 2004.
19. http://2.bp.blogspot.com/-PUIQ_cgQQzc/UDb-hqawZiI/AAAAAAAAB9c/MftbAa-m7Bk/s1600/Cellular-Generations-1G-2G-3G-4G-001.jpg) (kolovoz 2017.)
20. http://www.bmk.tv/wp-content/uploads/2012/06/Livestream-CDN-Schema-Setup.png (travanj 2017.)
21. http://www.hrvatskitelekom.hr (travanj 2017.)
22. http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje_3.pdf (travanj 2017.)
23. https://networklessons.com/cisco/ccna-routing-switching-icnd1-100-105/tcpip-stack-tutorial/ (kolovoz 2017.)
24. https://www.ietf.org/proceedings/88/slides/slides-88-tsvarea-10.pdf (travanja 2017.)
25. https://www.slideshare.net/nik0la/http-protokol (kolovoz 2017.)
26. https://www.viddler.com/blog/cracking-the-code-on-video-live-streaming-vs-video-on-demand/ (kolovoz 2017.)
27. https://www.wireshark.org/ (kolovoz 2017.)

Popis slika

Slika 1.Simbolični prikaz mreže i njenih funkcionalnosti 4
Slika 2. Razvoj pokretne mreže 7
Slika 3. Komparacija OSI modela i TCP/IP složaj 10
Slika 4. Usluge strujanja videosadržaja 15
Slika 5. Prikaz grafičkog sučelja *Wireshark* programa 18
Slika 6. Prikaz *YouTube* portala 21
Slika 7.Prikaz *Facebook* stranice 22
Slika 8. Prikaz *Messenger* aplikacije na mobilnom uređaju 22
Slika 9. Prikaz aplikacije *Skype* 23
Slika 10. Prikaz *Live Sport Streams* portala 24
Slika 11. Primjer liste uhvaćenih paketa 25
Slika 12. Prikaz komandne linije (CMD) 26
Slika 13. Informacije o videosadržaju na Youtube poslužitelju 27
Slika 14. Prikaz komunikacije između pošiljatelja i klijenta po protokolima za videosadržaj sa *YouTube* portala 29
Slika 15. Prikaz IP adrese videosadržaja na *YouTube* portalu 30
Slika 16. Povezivanje IP adrese klijenta i pošiljatelja (*YouTube*) 31
Slika 17. Distribucija broja paketa ovisno o korištenim protokolima 31
Slika 18. Prikaz IP adrese videosadržaja na *Facebook* aplikaciji 32
Slika 19. IP adresa videosadržaja na *Facebook* aplikaciji 33
Slika 20. Prikaz komunikacije između klijenta i pošiljatelja (*Facebook*) po protokolima 33
Slika 21. Distribucija broja paketa ovisno o korištenim protokolima 34
Slika 22. Prikaz *Skype* komunikacije između klijenta (računalo) i pošiljatelja (mobilni uređaj) po protokolima 35
Slika 23. Prikaz dvosmjerne komunikacije preko *Skype* aplikacije 36
Slika 24. Distribucija broja paketa ovisno o korištenim protokolima 37
Slika 25. Prikaz komunikacije između klijenta i pošiljatelja (*Live Sport Streams*) po protokolima 38
Slika 26. Distribucija broja paketa ovisno o korištenim protokolima 39
Slika 27. Statistika ukupnih uhvaćenih podataka 41
Slika 28. Statistika uhvaćenih podataka *stream-anog* videosadržaja sa *YouTube portala* 42
Slika 29. Prikaz veličine paketa videosadržaja sa *YouTube* portala 42
Slika 30. I/O graf (*YouTube)* 43
Slika 31. Statistika uhvaćenih podataka sa *Facebook aplikacije* 44
Slika 32. Prikaz veličine paketa videosadržaja sa *Facebook* aplikacije 44
Slika 33. I/O graf (*Facebook)* 45
Slika 34. Statistika uhvaćenih podataka sa *Skype aplikacije* 45
Slika 35. Prikaz veličine paketa videopoziva sa *Skype* aplikacije 46
Slika 36. I/O graf (*Skype*) 47
Slika 37. Statistika uhvaćenih podataka sa *Live Sport Streams* portala 47
Slika 38. Prikaz veličine paketa videosadržaja sa portala *Live Sport Streams* 48
Slika 39. I/O graf (*Live Sports Streams*) 49

Popis tablica

Tablica 1. Usporedba brzina različitih pristupnih tehnologija 6
Tablica 2. Popis stavki glavne alatne trake 19
Tablica 3. Popis stavki alatne trake za filtriranje 20

Popis grafova

Graf 1. Prikaz odnosa korištenih protokola (*Youtube*)....32
Graf 2. Prikaz odnosa korištenih protokola (*Facebook*)....35
Graf 3. Prikaz odnosa korištenih protokola (*Skype*)....37
Graf 4. Prikaz odnosa korištenih protokola (*Live Sport Streams*)....39
Graf 5. Udio TCP i UDP paketa....40
Graf 6. Prosjek uhvaćenih paketa po sekundi....50

Popis kratica

ADSL - *Asymmetric Digital Subscriber Line*

CBR - *Constant Bit Rate*

CDMA - *Code Division Multiple Access*

CMD - *Command Prompt*

DevTools - *Developer Tools*

DSL - *Digital Subscriber Line*

EDGE - *Enhanced Data Rates for Global Evolution*

EPG - *Electronic Program Guide*

GPRS - *General Packet Radio Service*

GSM - *Global System for Mobile Communications*

HDSL - *High-bit-rate Digital Subscriber Line*

HSCSD - *High Speed Circuit Switched Data*

HSDL 2 - *Enhanced High-bit-rate Digital Subscriber Line*

HSDPA - *High Speed Downlink Packet Access*

HSPA - *High Speed Packet Access*

HSPA+ - *Evolved High Speed Packet Access*

HSUPA - *High Speed Uplink Packet Access*

HTML - *HyperText Markup Language*

I/O - *Input/Output*

IDSL - *ISDN Digital Subscriber Line*

IP - *Internet Protocol*

IPv4 - *Internet Protocol version 4*

IPv6 - *Internet Protocol version 6*

ISDN - *Integrated Services Digital Network*

ISO - *International Organization for Standardization*

LAN - *Local Area Network*

MAN - *Metropolian Area Network*

MS-DOS - *MicroSoft Disk Operating System*

MSN - *Multi Service Network*

NAT - *Network Address Translation*

NMT - *Nordic Mobile Telephony*

NTT - *Nippon Telegraph and Telephone Corporation*

OSI - *Open Systems Interconnection*

POTS - *Plain Old Telephone Service*

QoS - *Quality of Service*

QUIC - *Quick UDP Internet Connections*

RTSP - *Real Time Streaming Protocol*

SDSL - *Single Line/Symmetrical Digital Subscriber Line*

SHDSL - *Symmetrical High-speed Digital Subscriber Line*

SHDSL - *Standard High-bit-rate Digital Subscriber Line*

TCP - *Transmission Control Protocol*

TCP/IP - *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*

TDMA - *Time Division Multiple Access*

UDP - *User Datagram Protocol*

UMTS - *Universal Mobile Telecommunications System*

VBR - *Variable Bit Rate*

VDSL - *Very High Bit/Data-rate DSL*

VoD - *Video on Demand*

VoIP - *Voice over Internet Protocol*

WAN - *Wide Area Network*

WCDMA - *Wideband Code Division Multiple Access*